



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR TERAPAN - 145501**

**MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KLENTENG  
PADA RUAS JALAN TOL SOLO - NGAWI STA 46 + 146  
DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIONAL**

**ARDINE WAIDA APRI ARIADNE  
NRP.3114 030 080**

**DWI HARYANTO  
NRP. 3114 030 120**

**Dosen Pembimbing  
Ir. CHOMAEDHI, CES., Geo.  
NIP. 19550319 198403 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**TUGAS AKHIR TERAPAN - 145501**

**MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KLENTENG  
PADA RUAS JALAN TOL SOLO - NGAWI STA 46 + 146  
DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIONAL**

**ARDINE WAIDA APRI ARIADNE  
NRP.3114 030 080**

**DWI HARYANTO  
NRP. 3114 030 120**

**Dosen Pembimbing  
Ir. CHOMAEDHI, CES., Geo.  
NIP. 19550319 198403 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**FINAL APPLIED PROJECT - 145501**

**DESIGN MODIFICATION OF KLENTENG BRIDGE  
STRUCTURE ON SOLO - NGAWI TOLL ROAD STA 46 + 146  
USING CONVENTIONAL CONCRETE BEAM**

**ARDINE WAIDA APRI ARIADNE  
NRP.3114 030 080**

**DWI HARYANTO  
NRP. 3114 030 120**

**Dosen Pembimbing  
Ir. CHOMAEDHI, CES., Geo.  
NIP. 19550319 198403 1 001**

**CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTEMENT  
VOCATIONAL FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN  
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN  
KLENTENG PADA RUAS JALAN TOL SOLO –  
NGAWI STA 46 + 146 DENGAN MENGGUNAKAN  
BALOK KONVENSIONAL**

Disusun untuk mengusulkan gagasan tugas akhir terapan  
sebagai salah satu syarat kelulusan pada  
Program Studi Diploma III Infrastruktur Teknik Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

**Surabaya, 25 Juli 2017**

**Disusun oleh :**

**Mahasiswa I**



**Ardine Waida Apri A.**  
**NRP. 3114030080**

**Mahasiswa II**



**Dwi Haryanto**  
**NRP. 3114030120**



Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

25 JUL 2017








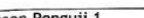




No. Agenda :  
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 8 Juli 2017

<b>Judul Tugas Akhir Terapan</b>	<b>Modifikasi Desain Struktur Jembatan Klenteng pada Ruas Jalan Tol Solo - Ngawi Sta 46+146 dengan Menggunakan Balok Konvensional</b>		
Nama Mahasiswa 1	Ardine Waida Apri A.	NRP	3114030080
Nama Mahasiswa 2	Dwi Haryanto	NRP	3114030120
Dosen Pembimbing 1	Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1) Perbaiki gbr diagram momen pd plat lantai 2) Perbaiki gbr kemutangan pd Plat (Arah me- lintang & memanjang Jembatan) 3) Masukkan trafik Zempn jumlah R=1 utk pondasi dan R utk selain pondasi.	 Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003
1) File Cap dinaikkan lebih ke atas lagi. 2) Panjan tiang diturunkan dengan gambar dari tanah.	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001
	-
	NIP -
	-
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
			
Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003	M. Khoirul, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001	- NIP -	- NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
		
	Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001	- NIP -





### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

**Nama** : 1. ARDINE WAIDA APRI ARIADNE 2 DWI HARYANTO  
**NRP** : 1 3114030080 2 3114030120  
**Judul Tugas Akhir** : MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KLENTENG  
 PADA RUAS JALAN TOL SOLO - NGAWI STA 46 + 146  
 DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIONAL  
**Dosen Pembimbing** : Ir. CHOMAEDEHI, CES, Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	21 Februari 2017	Parapet, Pelat Lantai, Girder				
		Sketsa dilengkapi dan betulkan diameter				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	3 Maret 2017	Perbaiki gambar penulangan parapet				
		Tulangan vertikal ganti D13				
		Ukuran gunakan dalam satuan mm		B	C	K
		Tulangan D29 diganti D32		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beban ditambah aspal (5 cm atau 7 cm)				
		Cari koefisien gesek antara beton dan beton				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	13 April 2017	- Perhitungan abutment dilanjutkan				
		- Sudut geser ambil nilai di tengah rentang				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	12 Mei 2017	- Jika menggunakan beban gempa, allowed axial load				
		dikalikan 2				
		- Untuk menghitung bangunan bawah, menggunakan		B	C	K
		faktor 1. Beban dg. perhitungan struktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gunakan beban kyan, betulkan kombinasi				

**Ket :**  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 ARDINE WAIDA APRI ARIADNE 2 DWI HARYANTO  
**NRP** : 1 3114030080 2 3114030120  
**Judul Tugas Akhir** : MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KLENTENG  
 PADA RUAS JALAN TOL SOLO-NGAWI STA 46+146  
 DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIONAL  
**Dosen Pembimbing** : Ir. CHOMAEDHI, CBS, Geo.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	26 Mei 2017	- Ru bahan harus lebih besar dari daya dukung ultimate.				
		- Daya dukung ijin pancang dikalikan 2		B	C	K
		- Pijin tanah harus lebih besar dari P yang terjadi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gunakan D0,6. D0,8 terlalu besar.				
6.	2 Juni 2017	- Ka gempa harus lebih besar dari Ka tidak gempa		B	C	K
		- Menghitung wing wall menggunakan beban gempa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Untuk menghitung Pijin, buat 2 versi, tanpa gempa dan dengan gempa.		B	C	K
		- Rencanakan tulangan dengan kelopatkannya.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	4 Juli 2017	- Sengking pada gambar penulangan dinding abutment dibuat mengikat		B	C	K
		- Buat stetsa gaya-gaya yang terjadi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pakami gambar dengan baik				
		- Tulangan balok girder masuk ke pelat lantai				
8.	20 Juli 2017	- Tulangan pada kantilever tidak perlu dibengkokkan		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket.**  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal

**MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN  
KLENTENG PADA RUAS JALAN TOL SOLO – NGAWI  
STA 46 + 146 DENGAN MENGGUNAKAN BALOK  
KONVENSIONAL**

**Nama Mahasiswa I : Ardine Waida Apri Ariadne**  
**NRP : 3114 030 080**  
**Jurusan : D III Teknik Infrastruktur Sipil**

**Nama Mahasiswa II : Dwi Haryanto**  
**NRP : 3114 030 120**  
**Jurusan : D III Teknik Infrastruktur Sipil**

**Dosen Pembimbing : Ir. Chomaedhi, CES., Geo.**  
**NIP : 19550319 198403 1 001**

**ABSTRAK**

Jembatan Klenteng terletak pada ruas jalan tol Solo – Ngawi STA 46+146 yang berada di daerah Sragen dengan bentang 16,8 meter dan lebar total jembatan 27,3 meter. Jembatan ini awalnya menggunakan struktur girder beton precast. Penulis memodifikasi desain girder jembatan menjadi girder beton konvensional.

Jembatan Klenteng digunakan sebagai objek tugas akhir untuk memodifikasi desain struktur jembatan meliputi bangunan atas : Dimensi struktur plat lantai kendaraan beserta pengaman disisi tepi dan pelebaran desain jembatan dari sebelumnya dengan acuan SNI-T-12-2004. Perhitungan bangunan bawah meliputi : abutment pondasi tiang pancang dan elastomer yang mengacu pada SNI T-12-2005 dan perencanaan perletakan jembatan kementerian PU Pekerjaan Umum 2015 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI Gempa 2833 2013 (Jembatan)

Dari hasil perhitungan modifikasi desain struktur Jembatan Klenteng didapatkan hasil berupa parapet dengan tinggi 1,2 m,

pelat lantai kendaraan dengan tebal 230 mm, balok girder konvensional 500 mm x 1000 mm, abutment dengan tinggi 7,07 m dan lebar 27,3 m menggunakan pondasi tiang pancang Ø60 berjumlah 45 buah, dan elastomer dimensi 480 mm x 380 mm x 187 mm.

**Kata kunci : Abutment, elastomer, girder beton konvensional, Jembatan Klenteng**

**DESIGN MODIFICATION OF KLENTENG BRIDGE  
STRUCTURE ON SOLO – NGAWI TOLL ROAD STA 46 +  
146 USING CONVENTIONAL CONCRETE BEAM**

**Student Name I : Ardine Waida Apri Ariadne**  
**NRP : 3114 030 080**  
**Department : D III Civil Insfrastucture Engineering**

**Student Name II : Dwi Haryanto**  
**NRP : 3114 030 120**  
**Department : D III Civil Insfrastructure Engineering**

**Counsellor Lecturer : Ir. Chomaedhi, CES., Geo.**  
**NIP : 19550319 198403 1 001**

***ABSTRACT***

*Klenteng Bridge where is located in Sragen with 16,8 meter long expanse and 27,3 meter wide is on Solo – Ngawi Toll Road STA 46+146. At first, this bridge is using concrete precast beam structure. Authors modified that beam design become conventional concrete beam.*

*Jembatan Klenteng is used as final project object to modify bridge structure design includes upper building : dimension of vehicle floor slab structure and its parapet on the edge side based on SNI-T-12-2004. Substructure calculations includes : abutment, pile foundation, and elastomer based on SNI T-12-2005, BMS BDM, and earthquake load based on SNI Gempa 2833 2013 (Jembatan).*

*From the calculations result of design modification Klenteng Bridge structure is obtained parapet with 1,2 m height, vehicle floor slab with thickness 230 mm, dimension of conventional concrete beam 500 mm x 1000 mm, abutment with 7,07 m height and 27,3 m wide using Ø60 spun pile foundation*

*with the number of 45 spun piles, and dimension of elastomer 480 mm x 380 mm x 187 mm.*

***Keyword : Abutment, elastomer, conventional concrete beam, Klenteng Bridge***



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Modifikasi Desain Struktur Jembatan Klenteng pada ruas jalan Tol Solo – Ngawi STA 46+146 dengan menggunakan balok konvensional ini dengan baik dan lancar. Segala hambatan dan rintangan yang telah kami alami dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini telah menjadi sebuah pelajaran dan pengalaman berharga bagi kami untuk meningkatkan kinerja kami.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan serta bantuan dari semua pihak. Untuk itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya patut kami berikan kepada :

1. Orangtua, yang selalu membantu baik secara moral maupun material
2. Ir. Chomaedhi, CES. Geo selaku dosen pembimbing kami, yang senantiasa membimbing dan mengarahkan kami, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar
3. Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Tetapi kami menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari kesalahan-kesalahan. Oleh sebab itu, kami mengharapkan koreksi dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak

Surabaya, 7 Juli 2017

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Data Eksisting Jembatan .....	2
1.3    Rumusan Masalah .....	3
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Maksud dan Tujuan .....	3
1.6    Manfaat.....	4
1.7    Peta Lokasi .....	4
1.8    Eksisting dan Rencana.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    Dasar-Dasar Perencanaan.....	7
2.2    Data Bahan .....	7
2.2.1    Beton .....	7
2.2.2    Baja.....	8
2.3    Dasar-Dasar Perhitungan.....	9

2.4	Analisis Pembebanan Struktur Jembatan .....	10
2.4.1	Beban Mati .....	10
2.4.2	Beban Hidup.....	10
2.4.3	Beban Lateral .....	13
2.4.4	Kombinasi Beban .....	20
2.5	Data Tanah .....	22
2.6	Perencanaan Bangunan Atas .....	23
2.6.1	Perencanaan Parapet.....	23
2.6.2	Perencanaan Pelat Lantai.....	23
2.6.3	Perencanaan Balok .....	31
2.6.4	Perencanaan Diafragma.....	41
2.6.5	Perencanaan Perletakan .....	41
2.7	Perencanaan Bangunan Bawah .....	44
2.7.1	Perencanaan Abutment.....	44
2.7.2	Perencanaan Pondasi .....	48
2.7.3	Pondasi Tiang Pancang Tunggal .....	49
2.7.4	Pondasi Tiang Pancang Grup .....	51
2.7.5	Daya Dukung Tiang Miring .....	52
BAB III METODOLOGI .....		55
3.1	Pengumpulan Data .....	55
3.2	Studi Literatur.....	55
3.3	Pembebanan.....	55
3.4	Analisis Struktur.....	56
3.5	Kontrol Kestabilan Struktur .....	58

3.6	Perencanaan Bangunan Bawah .....	58
3.7	Diagram Alir Metodologi .....	59
BAB IV PERENCANAAN BANGUNAN ATAS.....		63
4.1	Perencanaan Bangunan Sekunder.....	63
4.1.1	Perencanaan Parapet.....	63
4.2	Perencanaan Bangunan Utama .....	68
4.2.1	Perencanaan Pelat Lantai Jembatan.....	68
4.2.2	Perencanaan Pelat Kantilever .....	80
4.2.3	Perencanaan Balok Tengah .....	90
4.2.4	Perencanaan Balok Tepi .....	127
4.2.5	Perencanaan Diafragma.....	162
BAB V PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH .....		171
5.1	Perencanaan Abutment.....	171
5.1.1	Desain Dimensi Abutment .....	171
5.1.2	Perencanaan Pondasi Abutment .....	172
5.1.3	Perhitungan Pile Cap.....	203
5.1.4	Perhitungan Long Stopper.....	216
5.1.5	Perhitungan Dinding Abutment.....	223
5.1.6	Perhitungan Pelat Injak .....	235
5.1.7	Perhitungan Korbel Belakang Abutment.....	240
5.1.8	Perhitungan Wing Wall .....	246
5.1.9	Perhitungan Korbel Wing Wall .....	251
BAB VI PERLETAKAN JEMBATAN .....		257
6.1	Preliminary Design Perletakan .....	257

6.2	Menentukan Beban dan Gerakan Terburuk.....	257
6.3	Perencanaan Dimensi Elastomer .....	259
6.4	Kontrol Perlet akan Elastomer .....	260
BAB VII PENUTUP .....		265
7.1	Kesimpulan.....	265
7.2	Saran.....	266

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berat Sendiri KuMS .....	8
Tabel 2. 2 Berat Volume Beton.....	8
Tabel 2. 3 Selimut Beton Minimal .....	8
Tabel 2. 4 Berat Sendiri Baja KuMS.....	9
Tabel 2. 5 Kelas Situs (SNI Gempa 2833-2013 tabel 2) .....	14
Tabel 2. 6 Faktor Amplifikasi untuk Periode 0 dt & 0,2 dt (FPGA)/ (FA) .....	16
Tabel 2. 7 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik .....	16
Tabel 2. 8 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah.....	18
Tabel 2. 9 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Hubungan antar Elemen Struktur.....	19
Tabel 2. 10 Kombinasi Beban Umum untuk Keadaan Batas Kelayakan dan Ultimit.....	20
Tabel 2. 11 Kombinasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja .....	21
Tabel 2. 12 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana.....	22
Tabel 2. 13 Dimensi Balok Beton Bertulang.....	31
Tabel 2. 14 Tabel Kecepatan Angin .....	48
Tabel 4. 1 Analisis Pembebanan Beban Mati.....	72
Tabel 4. 2 Analisis Pembebanan Beban Hidup .....	72
Tabel 4. 3 Momen Tumpuan Ultimate Pelat Kendaraan .....	74
Tabel 4. 4 Momen Lapangan Ultimate Pelat Kendaraan .....	74
Tabel 4. 5 Beban Mati Merata pada Pelat Kantilever .....	81
Tabel 4. 6 Beban Mati Merata pada Pelat Kantilever .....	82
Tabel 4. 7 Beban Hidup Terpusat dan Merata pada Pelat Kantilever .....	82
Tabel 4. 8 Momen Tumpuan Ultimate .....	84
Tabel 4. 9 Momen Lapangan Ultimate.....	84

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Gaya Bangunan Atas .....	173
Tabel 5. 2 Perhitungan Beban Sendiri Abutment .....	175
Tabel 5. 3 Perhitungan Statis Momen Abutment .....	176
Tabel 5. 4 Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Poer Abutment .....	183
Tabel 5. 5 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang .....	189
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Tanah .....	190
Tabel 5. 7 Kontrol Daya Dukung Tiang .....	193
Tabel 5. 8 Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang Berdasarkan Nilai SPT .....	194
Tabel 5. 9 Gaya Horizontal Searah Sumbu X pada Beban Tetap .....	200
Tabel 5. 10 Gaya Horizontal Searah Sumbu Y pada Beban Tetap .....	200
Tabel 5. 11 Gaya-gaya Horizontal dari Arah Sumbu X pada Beban Sementara .....	201
Tabel 5. 12 Gaya-gaya Horizontal Searah Sumbu Y pada Beban Sementara .....	201
Tabel 5. 13 Kontrol Beban Horizontal .....	202
Tabel 5. 14 Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Pile Cap .....	204
Tabel 5. 15 Perhitungan Gaya Aksial Per Tiang .....	207
Tabel 5. 16 Perhitungan Reaksi Tiang Pancang .....	210
Tabel 5. 17 Perhitungan Momen Pile Cap .....	210
Tabel 5. 18 Kombinasi 1 Long Stopper Abutment .....	220
Tabel 5. 19 Kombinasi 2 Long Stopper Abutment .....	221
Tabel 5. 20 Kombinasi 1 Dinding Abutment .....	230
Tabel 5. 21 Kombinasi 2 Dinding Abutment .....	230
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Beban pada Pelat Injak .....	237
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Beban Sendiri pada Wing Wall .....	246
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Beban Tekanan Tanah Aktif pada Wing Wall .....	248



Tabel 5. 25 Rekapitulasi Gaya dan Momen pada Korbél Wing Wall .....	252
Tabel 6. 1 Rekapitulasi Beban Vertikal pada Perletakan .....	258
Tabel 6. 2 Rekapitulasi Beban Horizontal.....	258
Tabel 6. 3 Tabel Spesifikasi Elastomer .....	259
Tabel 6. 4 Dimensi Perletakan Elastomer .....	259
Tabel 6. 5 Data dan Spesifikasi Elastomer .....	260

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Jembatan Klenteng.....	4
Gambar 1. 2 Layout Eksisting Jembatan.....	5
Gambar 1. 3 Potongan Memanjang Eksisting Jembatan Klenteng.....	5
Gambar 1. 4 Potongan Memanjang Rencana Jembatan Klenteng.....	6
Gambar 1. 5 Potongan Melintang Jembatan Klenteng.....	6
Gambar 2. 1 Beban Lajur “D” .....	11
Gambar 2. 2 Pembebanan Truck “T” .....	12
Gambar 2. 3 Faktor Beban Dinamis Untuk BGT dan Pembebanan Lajur “D” .....	13
Gambar 2. 4 Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah.....	17
Gambar 2. 5 Permodelan Pembebanan pada Parapet .....	23
Gambar 2. 6 Kontrol Tebal Pelat Rencana Terhadap Geser Pons .....	24
Gambar 2. 7 Permodelan Balok Tepi .....	32
Gambar 2. 8 Permodelan Bidang D dan M Girder .....	32
Gambar 2. 9 Beban Hidup Balok Tepi .....	35
Gambar 2. 10 Bidang D dan M Akibat Beban Hidup Merata .....	35
Gambar 2. 11 Grafik Beban Rem .....	47
Gambar 2. 12 Daya Dukung Tiang Pancang .....	49
Gambar 2. 13 Diagram Perhitungan dan Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang.....	50
Gambar 4. 1 Penampang Parapet .....	63
Gambar 4. 2 Permodelan Beban pada Parapet .....	64
Gambar 4. 3 Pembebanan pada Parapet .....	65
Gambar 4. 4 Penulangan pada Parapet .....	68
Gambar 4. 5 Penampang Melintang Pelat Lantai Kendaraan.....	69
Gambar 4. 6 Geser Pons .....	70
Gambar 4. 7 Pembebanan Pelat Lantai.....	72
Gambar 4. 8 Bidang Momen Pelat Lantai .....	74

Gambar 4. 9 Denah Penulangan Pelat Lantai.....	80
Gambar 4. 10 Penulangan pada Pelat Lantai.....	80
Gambar 4. 11 Potongan Melintang Pelat Lantai Kantilever.....	81
Gambar 4. 12 Pembebanan pada Pelat Kantilever .....	81
Gambar 4. 13 Analisa Gaya Dalam pada Pembebanan Parapet ..	83
Gambar 4. 14 Penulangan Pelat Lantai Kantilever .....	90
Gambar 4. 15 Penampang Balok Girder Tengah.....	91
Gambar 4. 16 Beban Lajur Girder Tengah.....	92
Gambar 4. 17 Faktor Beban Dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur “BGT” .....	93
Gambar 4. 18 Permodelan Beban Mati Girder Tengah.....	94
Gambar 4. 19 Permodelan Beban Hidup Girder Tengah.....	94
Gambar 4. 20 Penulangan Balok Tengah pada 1/8 Bentang .....	105
Gambar 4. 21 Penulangan Balok Tengah pada 1/4 Bentang .....	112
Gambar 4. 22 Penulangan Girder Tengah pada 3/8 Bentang ....	119
Gambar 4. 23 Penulangan Girder Tengah pada 1/2 Bentang ....	126
Gambar 4. 24 Penampang Girder Tepi.....	128
Gambar 4. 25 Faktor Beban Dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur “P BGT” .....	129
Gambar 4. 26 Permodelan Beban Mati Girder Tepi.....	130
Gambar 4. 27 Permodelan Beban Hidup Girder Tepi .....	130
Gambar 4. 28 Penulangan Balok Tepi pada 1/8 Bentang.....	141
Gambar 4. 29 Penulangan Balok Tepi pada 1/4 Bentang.....	148
Gambar 4. 30 Penulangan Balok Tepi pada 3/8 Bentang.....	154
Gambar 4. 31 Penulangan Balok Tepi pada 1/2 bentang .....	161
Gambar 4. 32 Penulangan Diafragma .....	170
Gambar 5. 1 Perencanaan Abutment.....	172
Gambar 5. 2 Pembebanan Abutment Akibat Beban Mati Bangunan Atas .....	172
Gambar 5. 3 Pembagian Segmen Abutment.....	174
Gambar 5. 4 Asumsi Beban Hidup Lalu Lintas .....	177
Gambar 5. 5 Beban Tekanan Tanah Aktif pada Abutment .....	178
Gambar 5. 6 Grafik Gempa .....	180

Gambar 5. 7 Konfigurasi Tiang Pancang Abutment .....	186
Gambar 5. 8 Data Tanah SPT.....	186
Gambar 5. 9 Menentukan Panjang Ekuivalen Penetrasi sampai ke Lapisan Pendukung .....	188
Gambar 5. 10 Diagram perhitungan dari intensitas daya dukung ultimate tanah pada pondasi pada ujung tiang.....	188
Gambar 5. 11 Cara Menentukan Permukaan Tanah Rencana Untuk Tiang.....	198
Gambar 5. 12 Perhitungan Pile Cap .....	203
Gambar 5. 13 Beban Pada Poer Abutment.....	204
Gambar 5. 14 Konfigurasi Tiang Pancang Abutment .....	206
Gambar 5. 15 Gaya dan Momen pada Pile Cap .....	210
Gambar 5. 16 Longitudinal Stopper .....	216
Gambar 5. 17 Pembebanan pada Long Stopper .....	217
Gambar 5. 18 Dinding Abutment .....	224
Gambar 5. 19 Pembebanan Dinding Abutment.....	224
Gambar 5. 20 Pelat Injak.....	235
Gambar 5. 21 Pembebanan pada Pelat Injak .....	236
Gambar 5. 22 Permodelan Momen pada Pelat Injak.....	237
Gambar 5. 23 Korbel Belakang Abutment .....	240
Gambar 5. 24 Pembebanan pada Korbel Belakang .....	240
Gambar 5. 25 Wing Wall .....	246
Gambar 5. 26 Pembebanan Wing Wall Akibat Tekanan Tanah Aktif .....	247
Gambar 5. 27 Korbel Wing Wall .....	251
Gambar 6. 1 Beban Tegak Lurus Pada Perletakan .....	257

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teknik sipil adalah bidang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang bagaimana merancang, membangun, merenovasi tidak hanya gedung dan infrastruktur tetapi juga mencakup kemaslahatan hidup manusia. Teknik sipil mempunyai cabang-cabang ilmu seperti geoteknik, hidrologi, transportasi, struktural dan cabang-cabang lainnya.

Pada bidang transportasi, mempelajari mengenai sistem transportasi dalam perencanaan dan pelaksanaannya. Konstruksi bangunan transportasi meliputi jalan raya, jalan tol, bandar udara, dermaga, dan jembatan. Selain itu juga mempelajari pengaturan dan manajemen konstruksi yang telah disebutkan di atas.

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai saluran irigasi dan pembuang, danau, jalan raya, jalan kereta api, jalan melintang yang tidak sebidang dan lain-lain. Macam-macam jembatan menurut jenis materialnya terdiri dari jembatan kayu, jembatan baja, jembatan beton bertulang dan pratekan, dan jembatan komposit. Bagian-bagian dari konstruksi jembatan terdiri dari konstruksi bangunan atas dan konstruksi bangunan bawah. Konstruksi bangunan atas terdiri dari trotoar, lantai kendaraan, diafragma, balok, pengaku, dan perletakan. Sedangkan konstruksi bangunan bawah terdiri dari abutment dan pondasi.

Jembatan Klenteng adalah jembatan yang berada pada ruas j

alan tol Solo – Ngawi pada STA 46 + 146 yang tepatnya berada di Kabupaten Sragen. Jembatan ini memiliki panjang 16,8 meter menggunakan sistem konstruksi beton. Balok Girder adalah bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban kendaraan, berat sendiri girder dan beban-beban lainnya yang berada di atas girder tersebut ke bagian struktur bawah yaitu abutment. Pada tugas akhir ini penulis akan mendesain ulang struktur jembatan beton menggunakan balok *precast* diganti dengan struktur jembatan beton yang menggunakan balok konvensional.

## 1.2 Data Eksisting Jembatan

Jembatan balok beton bertulang 1 bentang dengan abutment berpondasi tiang pancang :

Mutu Beton  $f_c' = 25 \text{ MPa}$

Mutu Baja Tulangan  $D > 12 \text{ mm}$   $f_y = 400 \text{ MPa}$

Mutu Baja Tulangan  $D \leq 12 \text{ mm}$   $f_y = 240 \text{ MPa}$

Bangunan Atas :

- Bentang Jembatan  $L = 16,8 \text{ m}$

- Spasi Girder  $s = 1,75 \text{ m}$

- Lebar Lantai Kendaraan  $B = 27,3 \text{ m}$

- Tebal Lantai Jembatan  $t_s = 23 \text{ cm}$

Dimensi Girder :

- Tinggi Girder  $h = 1,5 \text{ m}$

- Lebar Girder  $b_w = 0,5 \text{ m}$

- Jumlah Girder  $n = 15 \text{ buah}$

Dimensi Diafragma :

- Tinggi Diafragma  $h = 0,71 \text{ m}$

- Lebar Diafragma  $b_w = 1,75 \text{ m}$

- Jumlah Diafragma  $n = 65 \text{ buah}$

Bangunan Bawah :

- Tinggi ruang bebas terhadap  $MAB = 1,32 \text{ m}$

- Tinggi MAB terhadap  $MAN = 4,3 \text{ m}$



### **1.3 Rumusan Masalah**

Dengan melihat uraian latar belakang di atas maka dalam penulisan tugas akhir ini terdapat permasalahan antara lain :

1. Bagaimana cara merencanakan struktur bangunan atas jembatan?
2. Bagaimana cara merencanakan struktur bangunan pelengkap jembatan?
3. Bagaimana cara merencanakan perletakan jembatan?
4. Bagaimana cara merencanakan struktur bangunan bawah jembatan dan pondasi?

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari rumusan masalah, maka perlu adanya batasan masalah. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Tidak membahas metode pelaksanaan jembatan
2. Tidak membahas RAB jembatan
3. Tidak menghitung pembebanan saat pelaksanaan

### **1.5 Maksud dan Tujuan**

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka tujuan yang akan dicapai pada proyek akhir ini adalah :

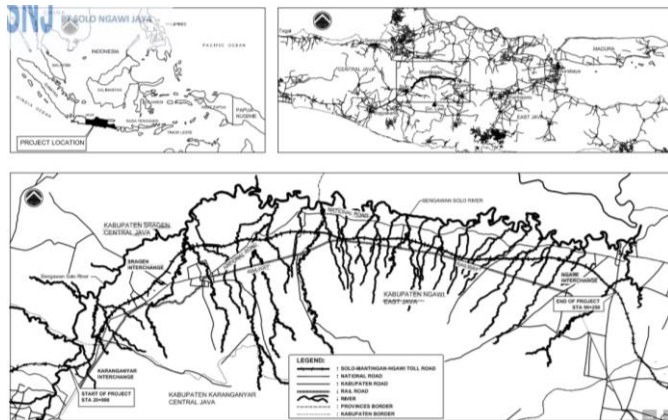
1. Untuk mendapatkan preliminary desain pada jembatan
2. Untuk mendapatkan perhitungan perencanaan jembatan dengan menggunakan beton konvensional
3. Untuk mendapatkan desain dan penulangan struktur bangunan atas
4. Untuk mendapatkan desain dan penulangan struktur bangunan bawah
5. Untuk mendapatkan desain dan penulangan struktur pada bangunan pelengkap

## 1.6 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari modifikasi desain Jembatan Klenteng adalah sebagai berikut :

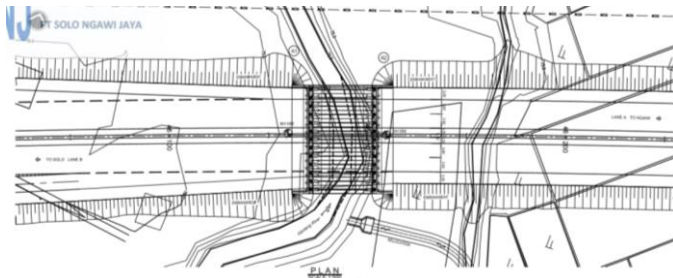
1. Mahasiswa mampu mengaplikasikan keseluruhan ilmu yang telah dipelajari selama proses kuliah
2. Mahasiswa mendapat ilmu tambahan khususnya di bidang teknik sipil
3. Mahasiswa dapat mengetahui proses perencanaan yang ada dalam suatu proyek jembatan

## 1.7 Peta Lokasi

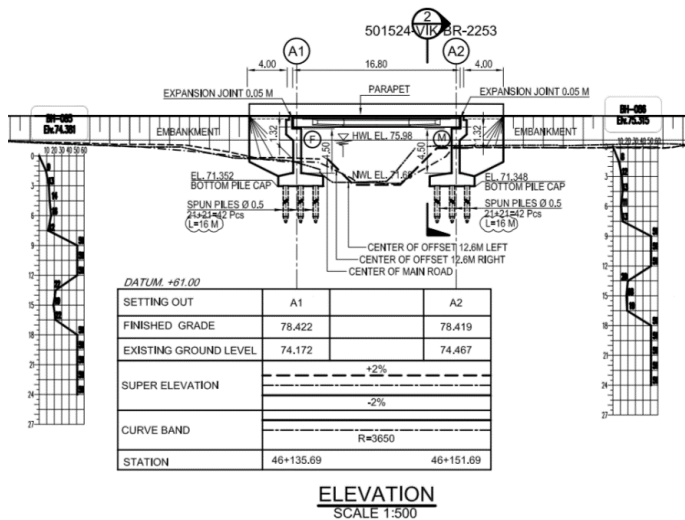


Gambar 1. 1 Peta Lokasi Jembatan Klenteng

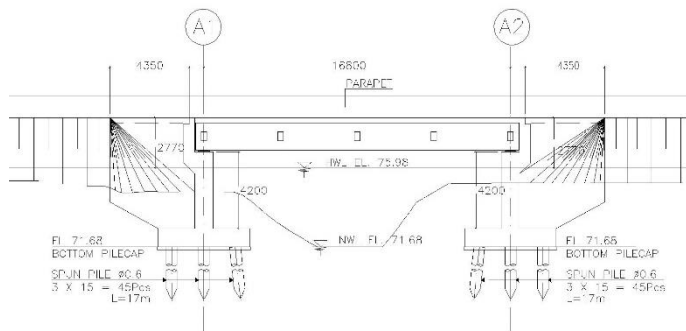
## 1.8 Eksisting dan Rencana



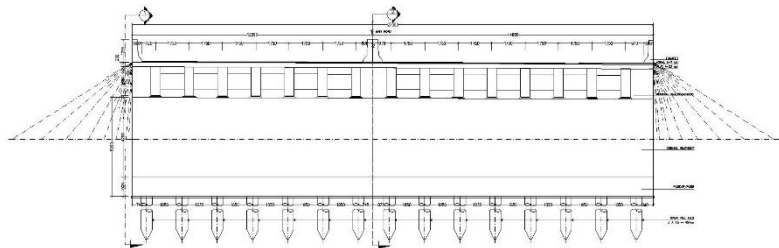
Gambar 1. 2 Layout Eksisting Jembatan



Gambar 1. 3 Potongan Memanjang Eksisting Jembatan Klenteng



**Gambar 1. 4 Potongan Memanjang Rencana Jembatan  
Klenteng**



Gambar 1. 5 Potongan Melintang Jembatan Klenteng

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar-Dasar Perencanaan**

Dasar yang digunakan untuk perhitungan modifikasi desain struktur Jembatan Klenteng dengan beton konvensional adalah sebagai berikut :

1. SNI T-02 -2005 : Standar Pembebanan Jembatan
2. SNI T-12-2004 : Struktur Beton Jembatan
3. SNI 2833-2013 : Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa
4. BMS : Perencanaan Perletakan dan Hubungan Lantai

#### **2.2 Data Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan pada konstruksi Jembatan Klenteng adalah beton dan baja. Di bawah ini adalah data-data dari beton dan baja yang digunakan dalam konstruksi jembatan Klenteng.

##### **2.2.1 Beton**

- a. Berdasarkan *RSNI T-12-2004* beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan.
- b. Modulus elastisitas ( $E_c$ ) berdasarkan *SNI – 03 – 2847 – 2002* untuk beton normal dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c'} \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

Dimana,

$f'c'$  = Kuat tekan silinder beton 28 hari

Tabel 2. 1 Berat Sendiri KuMS

Berat sendiri KuMS	
Beton dicor	1.3

Tabel 2. 2 Berat Volume Beton

Berat Volume Beton	
$\gamma$ Beton	25 kN/m <sup>3</sup>

### c. Tebal Selimut Beton

Tebal selimut beton direncanakan menurut keadaan lingkungan jembatan dan mutu beton yang digunakan, berdasarkan *RSNI T-12-2004*

Tabel 2. 3 Selimut Beton Minimal

Klasifikasi lingkungan	Tebal selimut beton nominal [mm] untuk beton dengan kuat tekan $f_c'$ yang tidak kurang dari				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
A	35	30	25	25	25
B1	(65)	45	40	35	25
B2	-	(75)	55	45	35
C	-	-	(90)	70	60

## 2.2.2 Baja

Mutu tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Untuk tulangan dengan  $D < 13$  mm,  $f_y = 280$  MPa, Bridge Design Code, tabel 6.12 hal 35.
2. Untuk tulangan dengan  $D \geq 13$  mm,  $f_y = 400$  MPa, Bridge Design Code, tabel 6.12 hal 35.
3. Modulus elastisitas baja adalah 200.000 MPa. Apabila harga tegangan tidak lebih besar dari  $f_y$ . (*RSNI T-12-2004*)

Tabel 2. 4 Berat Sendiri Baja KuMS

Berat sendiri KuMS	
Baja	1,1

### 2.3 Dasar-Dasar Perhitungan

Untuk memastikan keamanan struktur jembatan dalam menerima beban-beban yang terjadi terdapat dua pendekatan yakni sebagai berikut :

#### a. Rencana Tegangan Kerja

Rencana tegangan kerja ialah pendekatan elastis yang digunakan untuk memperkirakan kekuatan atau stabilitas dengan membatasi tegangan dalam struktur sampai tegangan ijin sebesar kurang lebih setengah dari kekuatan struktur aktual pada beban kerja. Nilai tegangan kerja ini harus kurang dari sama dengan tegangan ijin, nilai tegangan ijin diperoleh dari pembagian antara tegangan ultimate yang terjadi dengan faktor keamanan (SF).

**Diformulasikan seperti di bawah ini:**

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Kerja} &\leq \text{Tegangan Ijin} \\ &= \frac{\text{Tegangan Ultimate}}{\text{SF}} \dots\dots\dots (2.3.1) \end{aligned}$$

Kekurangan dalam rencana tegangan kerja adalah kurangnya efisiensi untuk mencapai tingkat keamanan yang konsisten jika faktor keamanan dipergunakan untuk bahan saja

#### b. Rencana Keadaan Batas

Rencana tegangan batas merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan pendekatan perencanaan dimana semua fungsi bentuk struktur telah diperhitungkan. Pada rencana keadaan batas, tingkat keamanan digunakan lebih merata pada seluruh

struktur dengan menggunakan faktor keamanan parsial. Perbedaan yang ada dari rencana tegangan kerja dengan rencana keadaan batas adalah jika pada rencana tegangan kerja faktor keamanan hanya digunakan untuk bahan, sedangkan pada rencana keadaan batas faktor keamanan terbagi antara beban dan bahan yang mengijinkan adanya ketidakpastian pada dua bagian tersebut atau dapat ditulis:

$$K^R \times \text{kapasitas nominal} \geq K^U \text{ beban nominal}$$

...(2.3.2)

## 2.4 Analisis Pembebanan Struktur Jembatan

Beban–beban yang terjadi pada jembatan yang perlu diperhatikan adalah beban – beban yang terjadi pada jembatan. Beban– beban tersebut akan mempengaruhi besarnya dimensi dari struktur jembatan serta banyaknya tuangan yang diperlukan. Pada peraturan teknik jembatan *SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan*.

### 2.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya (RSNI-T-02-2005 pasal 3.6)

### 2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan (RSNI-T-02-2005 pasal 3.7)

#### 1. Beban Lalu Lintas

Beban lalu-lintas adalah seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan



pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan (RSNI-T-02-2005 pasal 3.11).

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”.

a. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

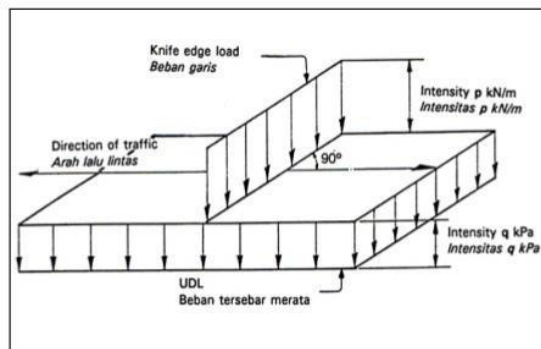
Intensitas beban D terdiri dari beban tersebar merata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT).

- Beban Terbagi Merata (BTR =  $q$ )  
Nilai  $q$  tergantung pada panjang yang dibebani  $L$  sebagai berikut :

- Untuk  $L < 30$  m,  $q = 9,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Untuk  $L > 30$  m,  $q = 8,0 (0,5 + 15/L)$  kN/m<sup>2</sup>

- Beban Garis Terpusat (BGT =  $P$ )

Beban garis “P” harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya nilai  $p$  adalah 49 kN/m.

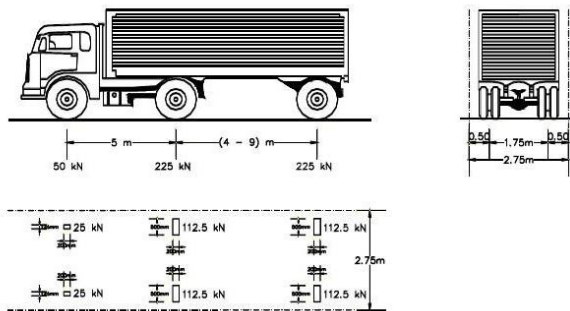


Gambar 2. 1 Beban Lajur “D”

b. Beban Truk “T”

Beban truk “T” adalah satu kendaraan dengan berat 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana. (RSNI-T-02-2005 pasal 6.1)

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada gambar di bawah. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksud agar mewakili pengaruh roda terhadap berat kendaraan. Beban “T” merupakan muatan untuk lantai kendaraan.



Gambar 2. 2 Pembebanan Truck “T”

c. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis DLA (Dynamic Load Allowance) berlaku pada “KEL” lajur “D” dan truk

“T” sebagai simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Besarnya . FBD merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari Pembebanan Truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan.

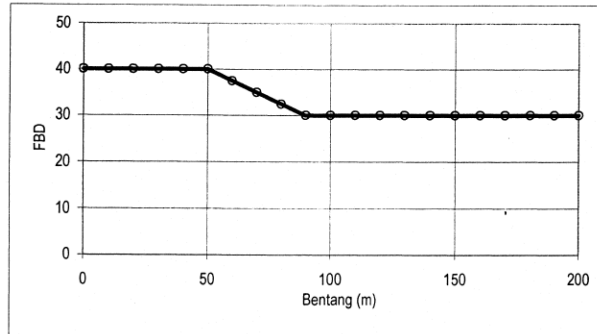
Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  dirumuskan sebagai berikut :

$$L_E = \sqrt{L_{av} \times L_{max}} \dots\dots\dots (2.4.2.1)$$

Dimana :

$L_{av}$  = Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

$L_{max}$  = Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus



*Gambar 2. 3 Faktor Beban Dinamis Untuk BGT dan Pembebanan Lajur “D”*

### 2.4.3 Beban Lateral

Beban-beban lateral yang bekerja adalah sebagai berikut :

1. Beban Angin

Gaya angin nominal ultimate pada jembatan tergantung pada kecepatan angin rencana yang diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{TEW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \dots (2.4.3.1)$$

Keterangan :

$V_w$  = Kecepatan angin rencana (m/dt)

$C_w$  = Koefisien seret

$A_b$  = Luas ekuivalen bagian samping jembatan( $m^2$ )

## 2. Beban Gempa

Berdasarkan SNI 2833 2013 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan, perencanaan beban rencana akibat gempa minimum diperoleh dari rumus di bawah ini :

**Menentukan kelas situs tanah :**

$$\bar{N} = \frac{\sum t_i}{\sum_n} \dots (2.4.3.2)$$

Keterangan :

$t_i$  = tebal lapisan tanah ke - i

$N_i$  = nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i

Hasil yang didapat dari perhitungan diatas dapat diplot kedalam tabel situs untuk menentukan kelas situs.

Tabel 2. 5 Kelas Situs (SNI Gempa 2833-2013 tabel 2)

Kelas Situs	$v$ (m/s)	N	Su
A. Batuan Keras	$v \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$v \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan	$350 < v \leq 750$	$N > 50$	$Su \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < v \leq 350$	$15 \leq N \leq 50$	$50 \leq Su \leq 100$
	$v < 175$	$N < 15$	$Su < 50$

D. Tanah Lunak	<p>Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 2</math></li> <li>2. Kadar air <math>(w) \geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser tak terdrainase <math>S_u &lt; 25 \text{ kPa}</math></li> </ol>
E. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan <math>&gt; 3\text{m}</math>)</li> <li>- Plastisitas tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5 \text{ m}</math> dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak atau medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35 \text{ m}</math></li> </ul>

### Penentuan Faktor Situs

Untuk penentuan respons spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode nol detik (FPGA), periode pendek /  $T=0,2$  detik (FA) dan periode 1 detik (Fv).

Tabel 2. 6 Faktor Amplifikasi untuk Periode 0 dt & 0,2 dt (FPGA)/ (FA)

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$ Ss $\leq 0,25$	PGA $\leq 0,2$ Ss = 0,5	PGA $\leq 0,3$ Ss = 0,75	PGA $\leq 0,4$ Ss = 1	PGA $\leq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2. 7 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1

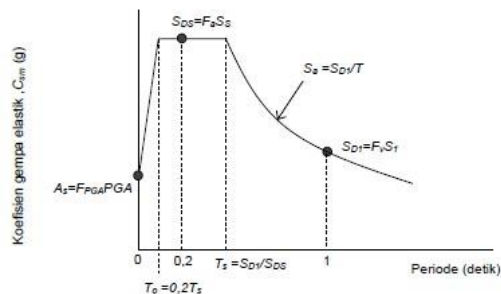
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan :

PGA : Percepatan puncak batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010

Ss : Parameter respons spectral percepatan gempa untuk periode pendek ( $T = 0,2$  detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010

SS : Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik



Gambar 2. 4 Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah

**Perumusan respons spektra adalah sebagai berikut:**

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

**Koefisien Respons Gempa Elastik :**

1. Untuk periode  $< T_0$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari formula dibawah ini :

$$C_{SM} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \dots\dots\dots(2.4.3.3)$$

2. Untuk periode  $\geq T_0$ , dan periode  $\leq T_S$ , respons spektra percepatan,  $C_{sm} = S_{DS}$ .

3. Untuk periode  $> T_S$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari formula berikut :

$$C_{SM} = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.4.3.4)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  : nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ( $T = 0.2$  detik)

$S_{D1}$  : nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

$T_0$  :  $0.2 T_s$

$T_S$  :  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

**Faktor modifikasi respons**

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2. 8 Faktor Modifikasi Respons ( $R$ ) untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya



Pilar Tipe Dinding	1,5	1,5	2,0
Kolom Beton Bertulang :			
- Tiang Vertikal	1,5	2,0	3,0
- Tiang Miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja & komposit :			
- Tiang Vertikal	1,5	3,5	5,0
- Tiang Miring	1,5	2,0	3,0
Kolom Majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2. 9 Faktor Modifikasi Respons ( $R$ ) untuk Hubungan antar Elemen Struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

### Gaya Gempa yang Diperkirakan

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$Eq = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots\dots\dots (2.4.3.5)$$

Keterangan :

$E_Q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  = Koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m

$R$  = Faktor modifikasi respons

$W_t$  = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

#### 2.4.4 Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan didasarkan pada ketentuan dalam **SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan** yaitu :

Tabel 2. 10 Kombinasi Beban Umum untuk Keadaan Batas Kelayakan dan Ultimit

Aksi	Kelayakan					Ultimit				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Aksi Permanen</b>	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Berat Sendiri	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Beban Mati Tambahan	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Susut Rangkak	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Pratekan	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Beban Pelaksanaan	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Tekanan Tanah	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Penurunan	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Aksi Transien</b>										
Beban Lajur D atau Beban Truk T	x	O	o	o		x	o	o	o	o

Gaya Rem	x	O	o	o			o	o	o	o
Beban Pejalan Kaki		X					x			
Gesekan Perletakan	o	O	x	o	o	o	o	o	o	o
Pengaruh Suhu	o	O	x	o	o	o	o	o	o	
Aliran/hanyutan/batang kayu	o		o	x	o	o		x	o	
Beban angin			o	o	x	o		o	x	
<b>Aksi Khusus</b>										
Gempa									x	
Beban Tumbukan										
Pengaruh Getaran	x	X								
Beban Pelaksanaan				x						

Tabel 2. 11 Kombinasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Aksi	Kombinasi No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi Tetap	x	x	x	x	x	x	X
Beban Lalu Lintas	x	x	x	x	-	-	X
Pengaruh Temperatur	-	x	-	x	-	-	-
Arus/hanyutan/hidro/daya apung	x	x	x	x	x	-	-
Beban angin	-	-	x	x	-	-	-

Pengaruh gempa	-	-	-	-	x		-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	x	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan	nol	25 %	25 %	40 %	50 %	30 %	50 %

Dalam merencanakan jembatan harus direncanakan jumlah lajur yang disesuaikan dengan kebutuhan jembatan tersebut. Adapun jumlah lajur tersebut seperti pada **BMS BDM hal 2-20** adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 12 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Jenis Jembatan	Lebar Jalan Kendaraan Jembatan (m)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana
Lajur Tunggal	4,0 - 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 - 8,25	2
	11,2-15,0	4
Jalan Kendaraan Majemuk	10,0 - 12,9	3
	11,25 - 15,0	4
	15,1 - 18,75	5

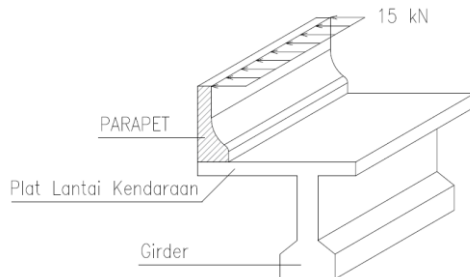
## 2.5 Data Tanah

Data Tanah untuk pondasi sumuran dapat di desain pada kedalaman tanah tertentu, pada saat nilai  $N > 50$  (tanah keras).

## 2.6 Perencanaan Bangunan Atas

Bagian-bagian jembatan yang diklasifikasikan sebagai bangunan atas jembatan meliputi parapet, pelat lantai, balok girder dan diafragma. Bagian – bagian tersebut dijabarkan sebagai berikut :

### 2.6.1 Perencanaan Parapet



Gambar 2. 5 Permodelan Pembebanan pada Parapet

Sandaran jembatan menggunakan parapet sebagai dinding penahan kendaraan, karena Jembatan Klenteng merupakan bagian dari Jalan Tol Solo – Kertosono sehingga tidak terdapat kerb dan trotoar.

Perencanaan parapet dilakukan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan (menggantikan fungsi kerb) sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaannya adalah memakai beban hidup untuk perencanaan kerb, yaitu sebesar 15 kNm.

### 2.6.2 Perencanaan Pelat Lantai

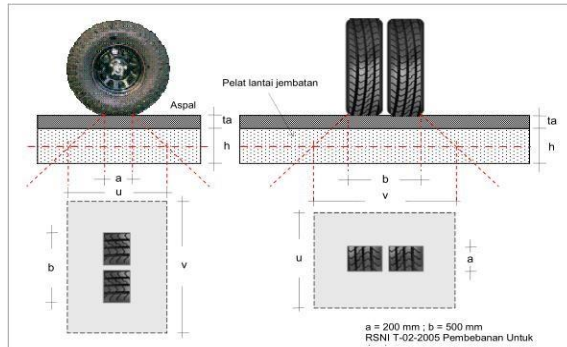
Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum ts sesuai dengan *SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan*

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 40l) \text{ mm}$$

Dimana :

$l$  = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan(m)



Gambar 2. 6 Kontrol Tebal Pelat Rencana Terhadap Geser Pons

### Distribusi Geser Pons

Geser Pons Tumpuan (gaya geser yang terjadi di atas girder) :

$$P_{\max} = K_{uTT} \times (P_{\text{roda}} + (1 + DLA))$$

Dimana :  $K_{uTT} = 2$

$$P_{\text{roda}} = 10 \text{ T}$$

$$DLA = 0,3$$

$$b = b_{\text{roda}} + 2t_a + t_p$$

$$a = a_{\text{roda}} + 2t_a + t_p$$

$$K^R_C = 0,6 \text{ (untuk geser)}$$

$$V_{uc} = K^R_C \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times b \times d \times \left( \frac{A_{st} \times f_{c'}}{b \times d} \right)^{1/2}$$

Dimana :  $d = b - d - \emptyset_{\text{tul.geser}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul.letur}}$

$$K^R_C = 0,75$$

$$\beta_1 = 1,4 - \left( \frac{d}{2000} \right) \leq 1,1$$

$$\beta_1 = 1$$

$$\beta_1 = 1$$

Keterangan :

Ast = luas potongan melintang dari tulangan memanjang

fc' = 30 MPa

$$V_{uc} = 0,6 \times 1/6 \times f_c'^{1/2} \times b \times d \text{ (SNI)}$$

Kontrol geser yang terjadi,  $V_{uc} \text{ (SNI)} > V_{uc} \text{ (BMS)}$

### Perencanaan tulangan pelat lantai :

#### a. Pelat Tipe A

Pelat tipe A atau pelat lantai kantilever, sehingga perletakkannya dianggap jepit -bebas pada kedua sisinya

- Beban yang terjadi pada pelat kantilever (tepi) yaitu:

##### 1. Beban Mati Merata

Beban yang terjadi pada kantilever adalah sebagai berikut :

- Berat sendiri pelat lantai kendaraan
- Parapet = (luas permukaan x  $\gamma$  beton )
- Air hujan = (t air hujan x l x  $\gamma$  air)

Dari beban–beban diatas maka akan didapat qD total, maka:

$$qD = (qD1 + qD2 + qD3) \text{ T/m}$$

Maka digunakan persamaan momen seperti berikut :

$$M_{maks} = 1/8 q l^2$$

##### 2. Beban Mati Terpusat

Dari perhitungan diatas maka dapat didapat PD total yaitu :

- Tiang sandaran  
= (vol. sandaran x  $\gamma$  beton)
- Pipa sandaran

$$= (A \text{ pipa} \times \text{jumlah pipa} \times l \times \gamma \text{ pipa})$$

$$\mathbf{PD_{total} = PD_1 + PD_2 \text{ (ton)}}$$

Dari hasil PD total diatas, maka dapat dicari momen PD yang bekerja pada tumpuan dan lapangan. Maka digunakan persamaan momen seperti berikut:

$$\mathbf{M_{maks} = Pl}$$

Jadi, M maks total untuk beban mati= M maks beban merata + M maks beban terpusat.

### 3. Beban Hidup Merata

Beban hidup yang bekerja pada pelat lantai kantilever adalah beban pejalan kaki berdasarkan *SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan.*

Dari pembebanan diatas dapat dicari qL yang bekerja pada pelat kantilever, sebagai berikut :

$$\text{Pejalan kaki (qL)} = qL \times b \text{ trotoar}$$

Dimana :

$$qL = \text{beban pejalan kaki}$$

$$b \text{ trotoar} = \text{lebar trotoar yang terbebani}$$

Digunakan persamaan momen seperti berikut:

$$\mathbf{M_{maks} = 1/8 qL^2}$$

Kombinasi :

$$M = (M \text{ mati total} \times KuMs) + (M \text{ hidup} \times KuTP)$$

Penulangan Lentur pada Pelat Lantai Kendaraan

Mu = dari hasil M kombinasi

$$Mn \text{ perlu} = \frac{Mu}{\phi} Tm$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho b = \beta_1 \times \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho \text{ max} = 0,75 \times \rho b$$



Kontrol :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Jika  $\rho$  berada diantara  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\max}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho$ .

$$d = d_{\text{pelat}} - \text{decking} - \frac{\emptyset_{\text{tul}}}{2}$$

dimana :

$d$  = tebal efektif pelat

$d_{\text{pelat}}$  = tebal pelat lantai

decking = tebal selimut

$\emptyset_{\text{tul}}$  = diameter tulangan

Luas tulangan yang diperlukan ( $A_{st}$ ) :

$$A_{st_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$n \text{ t (jumlah tulangan)} = \frac{A_{st_{\text{perlu}}}}{A_{st_{\text{tul.lentur}}}}$$

Kontrol,  $M_n > M_{n_{\text{perlu}}}$

$$a = \frac{A_{st} f_y}{0,85 f_c' b} \text{ mm}$$

$$M_n = A_{st} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - (\emptyset n t) - (2 \times \text{decking})}{5}$$

Jadi, tulangan lentur yang dipasang sesuai jarak yang telah dihitung.

Tulangan Pembagi pada Pelat Lantai Kendaraan (tepi) :

$$\text{Penulangan Pembagi} = 20\% \times A_{st_{\text{pasang}}}$$

Rencanakan tulangan pembagi :

$$A_{st_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \left( \frac{b}{s_{\text{tulangan}}} \right)$$

- b. Pelat Tipe B  
- Beban Mati

Beban yang terjadi pada pelat dalam adalah sebagai berikut :

- Beban Mati Merata
  - Berat sendiri pelat ( $qDL_1$ )  
 $= t_s \times 2,5 \text{ t/m}^3 \times l$
  - Berat aspal + overlay ( $qDL_2$ )  
 $= t_a \times 2,2 \text{ t/m}^3 \times l$
  - Berat air hujan ( $qDL_3$ )  
 $= t_{\text{air hujan}} \times 1 \text{ t/m}^3 \times l$

Dari beban – beban diatas maka dapat dicari momen  $qDL$  yang bekerja pada tumpuan dan lapangan. Dapat digunakan persamaan momen seperti berikut :

$$M_{\text{maks}} = 1/24 \ q \ D l^2$$

Dimana :

$qD$  = total seluruh beban

$l$  = jarak antar girder dari as ke as

- Beban Hidup Merata
    - Beban roda truk “T” = 100 kN = 10.000 kg
    - Dengan factor kejut (DLA = 0,3)
    - $K_{TT}^U = 2$  (factor untuk beban truk)
- Total muatan :  $P_{\text{truk}} = (1+DLA) \times T \times K_{TT}$

Dari hasil  $P$  diatas diasumsikan perletakan roda pada pelat dan kemudian diambil hasil momen terbesar. Ada 2 asumsi pembebanan roda truk pada pelat, yaitu :

1. Pelat dibebani dua truk yang berlawanan arah tapi beban diasumsikan merata.

Dapat diasumsikan perletakan strukturnya jepit – jepit. Adapun lebar pelat yang terpengaruhi adalah selebar penyebaran beban roda.

Dengan demikian plat diasumsikan sebagai balok dengan panjang =  $l$ , dan lebar =  $t_a + \frac{1}{2} t_s + 200 \text{ mm}$  dan tinggi =  $t_s$

Kemudian dihitung beban  $qL$ , menggunakan persamaan, seperti berikut :

$$q = \frac{P_{\text{roda}}}{A}$$

Dimana :

$P_{\text{roda}}$  = total muatan

$A$  = luas penampang yang terbebani  
( $2t_a + t_s + 500\text{mm}$ )

Dari hasil  $qL$  diatas maka dapat dicari nilai momen pada tumpuan dan lapangan, seperti berikut

$$M_{\text{maks}} = 1/24 qL^2$$

Dimana :

$qL$  = total seluruh beban

$l$  = jarak antar girder

2. Pelat dibebani satu beban roda ditengah-tengah bentang (diasumsikan jepit-jepit).

Adapun lebar pelat yang terpengaruhi adalah selebar penyebaran beban roda. Dengan demikian, asumsi struktur plat diantara balok adalah sebagai balok dengan panjang =  $l$  dan lebar =  $b$  dan tinggi =  $t_s$

Kemudian dihitung beban  $qL$ , menggunakan persamaan seperti berikut :

$$q = \frac{P_{\text{roda}}}{A}$$

Dimana :

$P_{\text{roda}}$  = total muatan

$A$  = luas penampang yang terbebani  
( $2t_a + t_s + 200\text{mm}$ )

Dari hasil  $qL$  diatas maka dapat dicari nilai momen pada tumpuan dan lapangan, seperti berikut :

$$M_{\text{maks}} = 1/24 qL^2$$

Dimana :

$qL$  = total seluruh beban

$l$  = jarak antar girder

Dengan demikian, kombinasi momen :

$$M = (M \text{ mati} \times KuMS) + (M \text{ hidup(maks)} \times KuTP)$$

Penulangan Lentur pada Pelat Lantai Kendaraan (tengah) :

$M_u$  = dari hasil M kombinasi

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} T_m$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_b = \beta_1 \times \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

Kontrol,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ . Jika  $\rho$  berada di antara  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\max}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho$

Luas tulangan yang diperlukan ( $A_{st}$ ) :

$$A_{st \text{ perlu}} : \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$n \text{ t (jumlah tulangan)} = \frac{A_{st \text{ perlu}}}{A_{st \text{ tul.lentur}}}$$

Kontrol,  $M_n > M_n \text{ perlu}$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \text{ mm}$$

$$M_n \text{ perlu} = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ kNm}$$

Jarak Antar Tulangan :

$$s = \frac{b - (\phi n_t) - (2 \times \text{decking})}{5}$$

Jadi, tulangan lentur yang dipasang sesuai dengan yang telah dihitung.

Tulangan Pembagi pada Pelat Lantai Kendaraan (tengah) :

$$\text{Tulangan Pembagi} = 20\% \times \text{As pasang}$$

### 2.6.3 Perencanaan Balok

Perencanaan awal balok sesuai dengan **BMS, BDM halaman 4-5**

Tabel 2. 13 Dimensi Balok Beton Bertulang

Jenis Unsur	Tinggi Nominal
Balok Beton Bertulang	$D \geq 165 + 0,06L$
Catatan : 1. Tinggi pelat menerus adalah 90% dari tinggi bentang sederhana di atas 2. D dan L dalam mm	

Dimana : L = panjang jembatan tiap bentang

Menentukan dimensi tinggi balok rencana yaitu :

$$D \geq 165 + 0,06L \dots\dots\dots (2.6.3.1)$$

Untuk penentuan lebar bagian bawah balok untuk pelat lantai tidak menerus menggunakan :

$$t \leq 0,5 \times bw \dots\dots\dots (2.6.3.2)$$

Dimana : t = tebal plat lantai

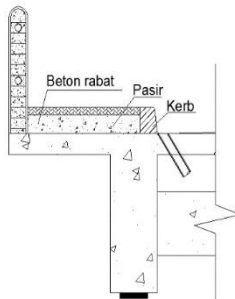
bw = lebar bagian bawah balok

Untuk menentukan lebar efektif pada pelat lantai tidak menerus menggunakan :

$$b_E \leq 4 b_w$$

Dimana : bE = lebar efektif (lebar bagian atas balok)

bw = lebar bagian bawah balok



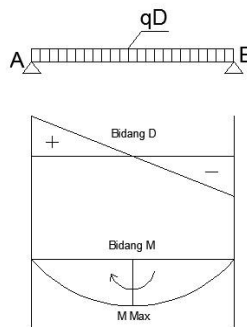
Gambar 2. 7 Permodelan Balok Tepi

## a. Beban yang Terjadi pada Balok Tepi

- Beban Mati Berasal dari :
    - Berat sendiri balok =  $b \times h \times \gamma_{\text{beton}}$
    - $q$  mati pelat tepi trotoar =  $(t \text{ rabat} \times 1 \times \gamma_{\text{beton}})$
- Dari beban – beban diatas maka akan didapat  $qD$  total maka:

$$qDL = (qD \text{ total}) T/m$$

Dari hasil  $qDL$  total diatas, maka dapat dicari momen  $qDL$  yang bekerja maksimum. Dandari data tersebut dapat dihitung untuk gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut :



Gambar 2. 8 Permodelan Bidang D dan M Girder

- Bidang D lapangan AB

$$D = R_v A - q \times \dots \dots \dots (2.6.3.3)$$

dimana :  $R_v A$  = gaya vertikal pada titik A

$q$  = beban mati (qDL)

$x$  = jarak

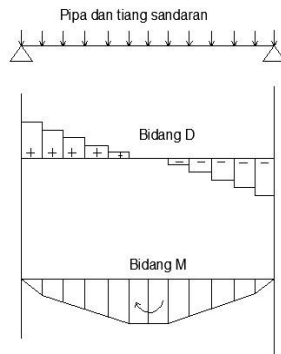
- Bidang M lapangan AB

$$M_{\max} = 1/2 q l^2 \dots \dots \dots (2.6.3.4)$$

dimana :  $q$  = beban mati (qDL)

$l$  = jarak

- Beban Mati Terpusat (pada balok tepi)
- pD sandaran
- Diafragma =  $1/2$  (s diafragma x t x b x  $\gamma$  beton)



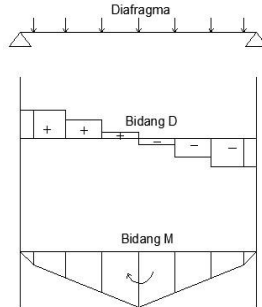
Gambar 2.9 Permodelan Bidang D dan M Akibat Parapet

$$M_{\text{maks akibat tiang sandaran}} = 1/4 P l$$

$$\text{Kombinasi M beban mati} = M_{\max} \times 1,3$$

$$M_{\text{maks akibat pipa sandaran}} = 1/4 P l \text{ kombinasi}$$

$$M_{\text{beban mati}} = M_{\max} \text{ pipa}$$



*Gambar 2.10 Permodelan Bidang D dan M Akibat Diafragma*

$$M_{\text{maks akibat diafragma}} = \frac{1}{4} P l \dots\dots\dots(2.6.4.5)$$

$$\text{Kombinasi M beban mati} = M_{\text{maks}} \times 1,3 \dots\dots\dots(2.6.4.6)$$

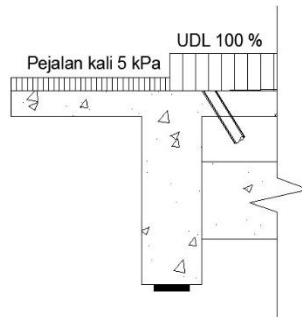
$$\text{Total M mati} = (M_{\text{maks beban merata}} \times K_{\text{uMS}}) + (M_{\text{maks beban terpusat}})$$

- **Beban Hidup pada Balok Tepi**

Beban hidup balok memanjang berupa beban D dan T yang bergantung pada lebarnya jalur kendaraan, untuk lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban D harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100%, dan apabila lebih besar dari 5,5 m beban D harus ditempatkan pada jalur lalu-lintas rencana yang berdekatan dengan intensitas yang tercantum pada **SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan**, sedangkan sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50% seperti tercantum pada **SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan**

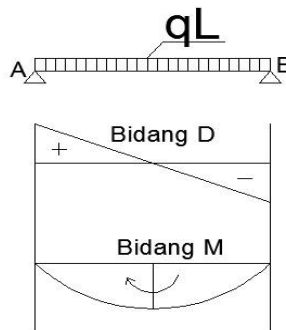
100 % beban UDL,  $q = 0,8 \text{ T/m}$  untuk  $L < 30 \text{ m}$





Gambar 2. 9 Beban Hidup Balok Tepi

- Beban Hidup Merata



Gambar 2. 10 Bidang D dan M Akibat Beban Hidup Merata

- Pejalan kaki =  $(q \text{ pejalan kaki} \times l)$ .....(2.6.4.7)
- Beban UDL 100% =  $(q \text{ UDL} \times l)$ .....(2.6.4.8)
- $qL \text{ total} = \text{pejalan kaki} + \text{UDL} \dots\dots\dots(2.6.4.9)$

Dari hasil beban diatas maka dapat dihitung untuk gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut:

- Bidang D lapangan AB

$$D = R_{VA} - q \times \dots\dots\dots (2.6.4.10)$$

dimana :  $R_{vA}$  = gaya vertikal pada titik A

$q$  = beban mati (qDL)

$x$  = jarak

- Bidang M lapangan AB

$$M_{\max} = R_{vA} - q \times \left(\frac{1}{2}x\right) \dots \dots \dots (2.6.4.11)$$

Dimana,  $q$  = beban mati (qDL)

$l$  = jarak

- Beban Hidup Terpusat

Beban hidup pada balok yang bekerja terpusat adalah “BGT”. Beban garis (BGT) sebesar  $P$  kN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. (berdasarkan *SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan*).

- Beban BGT,  $P = 4,9$  T/m

- Beban KEL =  $(P \text{ KEL} \times l) \dots \dots \dots (2.6.4.12)$

Dari hasil beban struktur diatas maka dapat dihitung untuk gaya dalam (bidang D) dan momen (bidang M), sebagai berikut :

$$M_{\max} \text{ akibat KEL} = P \times l \dots \dots \dots (2.6.4.13)$$

Total M hidup :

$M$  maks beban merata +  $M_{\max}$  beban terpusat

Kombinasi :

$$M = M \text{ mati total} + M \text{ hidup KuTP} \dots \dots (2.6.3.14)$$

#### b. Penulangan pada Balok Tepi

- Alur Penulangan Lentur

Berdasarkan buku beton bertulang susunan *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, dalam memeriksa penampang balok harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1.  $M_n > M_u$
2.  $\phi M_n > M_u$

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi akibat kesalahan dalam perkerasan

$M_n$  = momen nominal dari penampang

$M_u$  = momen batas terfaktor

Berdasarkan buku beton bertulang, *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, faktor  $\phi$  bermacam-macam tergantung pada perilaku maupun jenis elemen strukturnya. Faktor reduksi kekuatan terhadap lentur yaitu 0,9.

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} \text{ kNm} \dots \dots \dots (2.6.4.15)$$

Berdasarkan buku beton bertulang *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, letak garis netral (x) saat kondisi *balanced*, yaitu :

$$\rho_b = \beta_1 \times \frac{0,85 f_{c'}}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots (2.6.4.16)$$

Dimana :  $\rho_b$  = Kondisi berimbang

$f_y$  = Mutu baja (MPa)

$\beta_1$  = faktor garis netral (0,85)

$f_{c'}$  = mutu beton (MPa)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \dots \dots \dots (2.6.4.17)$$

Dimana  $\rho_b$  = dari hasil nilai hitungan di atas

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.6.4.18)$$

Dimana :  $f_y$  = mutu baja (MPa)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_y} \dots \dots \dots (2.6.4.19)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \dots \dots \dots (2.6.4.20)$$

Dimana :

$R_n$  = kuat rencana

$M_n$  = momen nominal dari penampang

$\phi$  = 0,8

$b$  = jarak antar girder

$d$  = tinggi bersih

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \dots (2.6.4.21)$$

Kontrol,  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$

- Luas tulangan yang diperlukan ( $A_{st}$ ) =  $\rho \times b \times d$

Dimana :

$\rho$  = didapat dari hasil kontrol diatas

$b$  = jarak antar balok as ke as

$d$  = tebal efektif

$$n_t = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

- Penentuan Balok T Asli atau T Palsu
  - Alur Penulangan Geser
    - Menentukan gaya lintang maksimum
    - Menghitung batas kehancuran badan
    - Menghitung bagian beton terhadap kekuatan geser ( $V_{uc}$ )
    - Menghitung kuat geser minimum
    - Kontrol

c. Beban yang terjadi pada balok tengah

- Beban mati merata ( $q_D$ ) berasal dari :
    - Berat sendiri balok balok
    - $q$  mati pelat tengah
  - Beban mati terpusat
  - Beban hidup pada balok tengah
  - Beban hidup terpusat
    - Beban BGT,  $P = 4,9 \text{ T/m}$
- Beban BGT =  $(P \text{ BGT} \times l) \dots \dots (2.6.4.22)$

d. Penulangan pada balok tengah

- Alur penulangan lentur

Berdasarkan buku beton bertulang susunan *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, dalam memeriksa penampang balok harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1.  $M_n > M_u$
2.  $\phi M_n > M_u$

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi akibat kesalahan dalam perkerasan

$M_n$  = momen nominal dari penampang

$M_u$  = momen batas terfaktor

Berdasarkan buku beton bertulang, *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, faktor  $\phi$  bermacam-macam tergantung pada perilaku maupun jenis elemen strukturnya. Faktor reduksi kekuatan terhadap lentur yaitu 0,8.

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} \text{ kNm} \dots \dots \dots (2.6.4.15)$$

Berdasarkan buku beton bertulang *SNI T-12-2004 Struktur Beton Jembatan*, letak garis netral (x) saat kondisi *balanced*, yaitu :

$$\rho_b = \beta_1 \times \frac{0,85 f_{c'}}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots (2.6.4.16)$$

Dimana :  $\rho_b$  = Kondisi berimbang

$f_y$  = Mutu baja (MPa)

$\beta_1$  = faktor garis netral (0,85)

$f_{c'}$  = mutu beton (MPa)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \dots \dots \dots (2.6.4.17)$$

Dimana  $\rho_b$  = dari hasil nilai hitungan di atas

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.6.4.18)$$

Dimana :  $f_y$  = mutu baja (MPa)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_y} \dots \dots \dots (2.6.4.19)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \dots\dots\dots(2.6.4.20)$$

Keterangan :

$R_n$  = kuat rencana

$M_n$  = momen nominal dari penampang

$\phi$  = 0,8

$b$  = jarak antar girder

$d$  = tinggi bersih

$$\rho = \frac{K_{cr} f_y - \sqrt{(K_{cr} f_y)^2 - 2,4 K_{cr} \left( \frac{M^*}{b d^2} \right) \left( \frac{f_y^2}{f_c'} \right)}}{1,2 K_{cr} \left( \frac{f_y^2}{f_c'} \right)} \dots\dots(2.6.4.23)$$

Kontrol,  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

Luas tulangan yang diperlukan ( $A_s$ ) =  $\rho \times b \times d$

Dimana :  $\rho$  = didapat dari hasil kontrol diatas

$b$  = jarak antar balok as ke as

$d$  = tebal efektif

$$n_t = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi d^2} \dots\dots(2.6.4.24)$$

Dari hasil  $n_t$  maka akan didapat jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots(2.6.4.25)$$

$$x = \frac{a}{0,8}$$

Dimana dari hasil  $x$  dapat menentukan letak garis netral

Kontrol :  $M_n \text{ ada} > M_n \text{ perlu}$

$$M_n \text{ ada} = A_s f_y \left( d - \frac{d}{a} \right) \text{ kNm} \dots\dots(2.6.4.26)$$

Penentuan balok T asli atau T palsu yaitu dengan dinyatakan balok T tersebut palsu apabila garis netral berada dalam flens. Sedangkan balok tersebut T asli apabila garis netral berada di luar flens

## 2.6.4 Perencanaan Diafragma

Perencanaan dimensi balok diafragma tidak ada pedoman pasti, sehingga digunakan acuan sebagai berikut: Perletakan balok diafragma dianggap jepit – jepit

- Beban yang terjadi, yaitu :
  - Beban mati merata :  

$$\text{Beban sendiri Diafragma} = b \times h \times \gamma_{\text{beton}}$$
- Kombinasi  

$$= (\text{Momen mati} \times \text{KuMS}) + (\text{Momen Hidup} \times \text{KuTP})$$

## 2.6.5 Perencanaan Perletakan

### 2.6.5.1 Dasar Perencanaan

Berdasarkan BMS BDM 1992 pasal 7.2.1 perletakan elastomer umumnya terbuat dari karet alam dan pelat baja yang diikat bersatu selama vulkanisasi dan mempunyai selimut sisi elastomer minimum 6 mm, sisi atas dan bawah sebesar 4 mm untuk melindungi pelat baja. Karet umumnya diisyaratkan agar mempunyai kekerasan IHRD  $53 \pm 5$ . Perletakan elastomer dapat mempunyai bentuk sirkular atau persegi. Jika perletakan memikul simpangan dan/atau perputaran dalam kedua arah secara bersamaan harus dipilih perletakan sirkular, dalam semua keadaan perletakan persegi lebih hemat.

### 2.6.5.2 Perencanaan Bantalan Elastomer Berlapis

#### a. Perencanaan Dimensi

Perencanaan dimensi berdasarkan BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.4 (g).

Ukuran denah 480 mm x 380 mm		Tebal selimut sisi 10					Tebal selimut atas dan bawah 6				
Tebal pelat baja 5		Jumlah lapis karet dalam	Tinggi keseluruhan mm	Kekakuan tekan terhitung pada geser nol 10 <sup>3</sup> kN/m	Kekakuan geser rata-rata 10 <sup>3</sup> kN/m	Kekakuan perputaran terhitung kNm/rad	Kapasitas lendutan geser mm	Beban ternilai pada perputaran nol		Beban ternilai pada perputaran maksimum	
								pada geser maksimum kN	pada geser nol kN	pada geser maksimum kN	pada geser nol kN
Tebal karet dalam 9											
4	73	1358	2.62	5371	33.6	2484	2484	1166	1562		
6	101	1005	1.91	3967	42.5	2484	2484	1192	1578		
8	129	798	1.50	3145	48.2	2484	2484	1223	1588		
10	157	661	1.23	2606	51.3	2484	2484	1255	1594		
Tebal karet dalam 12											
3	68	976	2.62	3620	33.6	2133	2484	1004	1353		
5	102	641	1.75	2358	44.6	2129	2484	1012	1341		
7	136	477	1.31	1748	50.6	2066	2404	1036	1335		
10	187	344	0.95	1260	66.0	1428	1748	1018	1331		
Tebal karet dalam 15											
3	77	593	2.21	2113	38.7	1702	2434	857	1157		
5	117	376	1.45	1329	48.9	1726	2122	869	1136		
7	157	275	1.08	969	58.5	1321	1578	868	1126		
9	197	217	0.86	763	72.0	1005	1256	848	1120		

### Spesifikasi Elastomer Bearing Pad

#### b. Kontrol Perletakan

##### 1. Kontrol Luas Efektif Minimum

Data pemeriksaan tahap 1 :

$\delta a$  = gerakan tangensial arah dimensi memanjang

(a)

$\delta b$  = gerakan tangensial arah dimensi melintang (b)

H = gaya horizontal pada perletakan (kN)

A eff = Luas efektif minimum

Menghitung gerakan tangensial :

$$\delta a = \delta b \text{ (perletakan persegi)} = \frac{H \cdot t}{1000 \cdot A_t \cdot G}$$

Menghitung gerakan tangensial :

$$A_{eff} = A_t \cdot \left( 1 - \frac{\delta a}{a} - \frac{\delta b}{b} \right)$$

Kontrol tahap 2 :

$$\frac{A_{eff}}{0,8 A_t} \geq 1,0$$

Kontrol faktor bentuk :  $4 \leq S \leq 12$

$$S = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b) \cdot 14} \geq 1,0$$



## 2. Kontrol Regangan Total Maksimum

$\alpha_a = \alpha_b =$  perputaran relatif dari permukaan atas dan bawah perletakan.

$$\alpha_a = \alpha_b = 0,035 \text{ radian}$$

$$\epsilon_{sr} = \frac{\alpha_a \cdot a^2 \cdot \alpha_b \cdot b^2}{2 \cdot 155 \cdot 187 \cdot 6 \cdot SV}$$

$$\epsilon_{sc} = \frac{\delta s}{3 \cdot A_{eff} \cdot G \cdot (1 + 2S^2)}$$

$$\epsilon_{sh} = \frac{\delta s}{t}$$

$$\epsilon_T = \epsilon_{sr} + \epsilon_{sc} + \epsilon_{sh}$$

## 3. Kontrol Regangan Maksimum

Untuk nilai  $A_{eff} > 0,9 A$ , maka diambil data pemeriksaan sebagai berikut :

$$\epsilon_{sh \text{ maks}} = 0,7$$

$$\epsilon_{sh} = 0,012$$

Kontrol :

$$\frac{\epsilon_{sh \text{ maks}}}{\epsilon_{sh}} > 1,0$$

## 4. Kontrol Batas Leleh

$V$  = Gaya vertikal terhadap perletakan (kN)

$V_{LL}$  = Gaya vertikal akibat beban hidup (kN)

Kontrol :

$$\frac{1,4 \cdot V}{\epsilon_{sc} \cdot V_{LL}} \times \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1,0$$

## 5. Kontrol Tegangan Maksimum Rata-rata

Kontrol :

$$\frac{15 \times At}{V} \geq 1,0$$

## 6. Kontrol Perputaran Maksimum

$$EH = A \times G \times 1 - \frac{1}{\frac{a}{b} + \frac{b}{a}}$$

$$C = 4 + \frac{a}{b} \times 6 \frac{3,3 a}{b}$$

$$E = EH + \frac{C \times G \times S^2}{1 + \frac{C \times G \times S^2}{0,75 b}}$$

$$dc = te \times \frac{V}{E \times A}$$

Kontrol :

$$\frac{\alpha a \times a \times \alpha b \times b}{4 \times dc} \geq 1,0$$

## 7. Kontrol Stabilitas Tekan

Kontrol :

$$\frac{2 \cdot b \cdot G \cdot S \cdot A \text{ eff}}{v} \geq 1,0$$

## 8. Kontrol Tebal Baja Minimum

Kontrol :

$$\frac{ts}{3} \geq 1,0$$

$$\frac{ts \cdot A \cdot fsy}{3000 \cdot V \cdot ti} \geq 1,0$$

## 9. Kontrol Tahanan Gesek terhadap Geseran

$$\frac{0,1 \cdot V + (3000 \cdot A \text{ eff})}{H} \geq 1,0$$

**2.7 Perencanaan Bangunan Bawah**

Yang termasuk bangunan bawah jembatan adalah abutmen, pondasi, dan pilar. Dimana setiap bagian tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

**2.7.1 Perencanaan Abutment**

Kepala jembatan (abutmen) merupakan suatu bangunan atau bagian dari konstruksi jembatan yang menerima beban dari bangunan atas dan tekanan tanah

yang selanjutnya akan disalurkan ke pondasi. Tekanan tanah dapat berupa tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah yang membebani dinding penahan tanah dengan arah horizontal di bagian belakang abutmen dan besar tekanan dapat meningkat perlahan-lahan sampai mencapai harga tetap. Sedangkan tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang mempunyai tegangan horizontal yang arahnya berlawanan dengan tekanan tanah aktif.

**Beban yang bekerja pada abutment yaitu :**

- Beban Vertikal
  - ♦ Beban dari bangunan atas (tercantum pada perhitungan girder)
    - ▲ Beban mati merata
      1. Berat sendiri balok
      2. Berat parapet
      3. Berat barrier
      4. Berat air hujan
      5. Berat pelat kendaraan
      6. Berat aspal+overlay
    - ▲ Beban mati terpusat
      1. Berat parapet
      2. Berat barrier
      3. Berat diafragma
    - ▲ Beban hidup merata
      1. Beban pejalan kaki
      2. Beban UDL
    - ▲ Beban hidup terpusat
      1. Beban KEL
  - ♦ Berat sendiri abutment
  - ♦ Berat pelat injak
  - ♦ Berat tanah
- Beban Horizontal
  - ♦ Tekanan Tanah
    - ♦ Tekanan Tanah Aktif

Arah gaya dari tekanan tanah aktif adalah horizontal ke arah dalam jembatan, tepatnya tanah aktif berada di belakang abutmen sesuai dengan ***SNI T-02 -2005 Standar Pembebanan Jembatan.***

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) \dots\dots\dots(2.7.1.1)$$

$$Q_a = \lambda \times h^2 \times K_a \dots\dots\dots(2.7.1.2)$$

$$T_{a1} = q \times b \dots\dots\dots(2.7.1.3)$$

$$T_{a2} = 1/3 \times q \times b \dots\dots\dots(2.7.1.4)$$

Dimana :

$K_a$  = Koefisien tanah aktif

$a$  = Sudut kemiringan dari urugan

$\gamma_t$  = berat volume tanah (1,83 t/m<sup>3</sup>)

$\phi$  = sudut geser tanah

$c$  = koefisien geser tanah

$\delta$  = rencana sudut geser tembok (2/3  $\phi$ )

♦ Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif pada kepala jembatan direncanakan setinggi poer. Untuk menghitung tekanan tanah pasif digunakan cara yang sama dengan tekanan tanah aktif

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) \dots\dots\dots(2.7.1.5)$$

$$q_p = \lambda \times h^2 \times K_p \dots\dots\dots(2.7.1.6)$$

$$T_p = 0,5 \times q \times b \dots\dots\dots(2.7.1.7)$$

♦ Tekanan Tanah Dinamis

Jika diasumsikan abutmen sebagai tembok flekibel (BMS BDC 1992 Lampiran A-21) maka sudut kemiringan tepi belakang tembok diukur terhadap vertikal ( $\beta$ )

$$\phi = \tan^{-1} (K_{cr} \times \tan \phi) \dots\dots\dots(2.7.1.8)$$

$$\delta = 2/3 \phi \dots\dots\dots(2.7.1.9)$$

KaG =

$$\frac{\cos^2(\emptyset - \beta - \theta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \cdot \sin(\emptyset - a - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right)}$$

..... (2.7.1.10)

$$\Delta KaG = KaG - Ka \text{ .....(2.7.1.11)}$$

$$\Delta PG = \frac{\gamma t H^2}{2} \times \Delta KaG \times H \text{ .....(2.7.1.12)}$$

Dimana :

KaG = koefisien tekanan tanah aktif dinamik

$\Delta KaG$  = Tambahan koefisien tekanan tanah dinamik

$\Delta PG$  = Tekanan tanah dinamik

$\beta$  = sudut geser tepi belakang tembok

$a$  = sudut kemiringan jurugan (0,83)

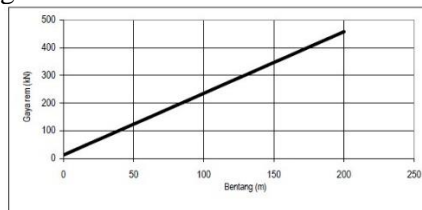
$\delta$  = rencana sudut geser tembok

$\emptyset$  = sudut geser tanah nominal

Dari analisis pembebanan diatas, maka selanjutnya akan dilanjutkan dengan analisis momen dan gaya

#### ♦ Beban Rem

Analisis beban rem berdasarkan **SNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan** maka gaya rem diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas atau bisa menggunakan tabel berikut :



Gambar 2. 11 Grafik Beban Rem

- ♦ Gaya Gempa Bumi

Analisis beban gempa berdasarkan *SNI 2833-2013 Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa*, Beban gempa direncanakan dengan metode beban horizontal statis ekuivalen. Beban gempa bangunan atas yang masuk pada abutmen direncanakan 50% dari total beban.

- ♦ Beban Angin

Gaya angin (Tew)

$$= 0,0006 \cdot C_w \cdot V_w^2 \cdot A_b \text{ (kN)} \dots (2.7.1.13)$$

Dimana:

$A_b$  = Luas koef bagian samping jembatan

$L$  = Panjang jembatan(m)

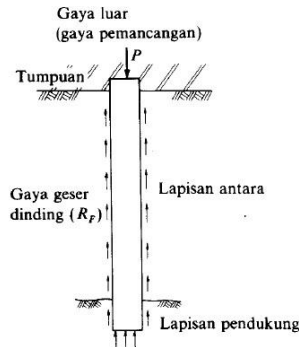
$d$  = Tinggi samping jembatan yang terkena angin, dimana hal ini adalah jarak dari antar balok sampai tinggi truk (m)

Tabel 2. 14 Tabel Kecepatan Angin

Keadaan Batas	Lokasi	
	< 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimate	35 m/s	30 m/s

## 2.7.2 Perencanaan Pondasi

Pondasi yang digunakan harus berdasarkan pada data hasil penyelidikan tanah. Untuk mengetahui hasil penyelidikan tanah maka data tanah dapat berupa data SPT maupun data sondir. Hasil penyelidikan tanah ini adalah untuk mengetahui letak tanah keras. Setelah mengetahui letak tanah keras, maka tipe pondasi yang akan digunakan dapat ditentukan, untuk letak tanah keras yang lebih dari 10 meter, dipilih jenis pondasi dalam sehingga beban dapat disalurkan ke tanah keras.



Gambar 2. 12 Daya Dukung Tiang Pancang

### 2.7.3 Pondasi Tiang Pancang Tunggal

Untuk menentukan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil data SPT, digunakan beberapa rumus sebagai berikut :

#### 2.7.3.1 Gaya Geser Dinding Tiang

Penentuan gaya geser maksimum dinding tiang:

$$R_f = U_p \times \sum l_i \cdot f_i \dots\dots\dots(2.7.3.1)$$

Keterangan :

$U$  = keliling tiang (m)

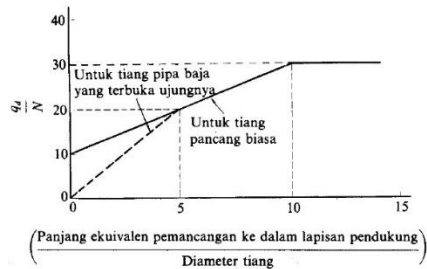
$l_i$  = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran pada dinding tiang

$f_i$  = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m<sup>2</sup>)

#### 2.7.3.2 Daya Dukung Ujung Tiang Pancang

Setelah menentukan diameter tiang dan mendapatkan panjang penetrasi, maka  $q_d/N$  dapat dicari menggunakan grafik di bawah ini

## 6.4 Daya Dukung Yang Diijinkan



Gambar 2. 13 Diagram Perhitungan dan Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang

Setelah  $q_d/N$  dapat diketahui maka besarnya  $q_d$  dapat ditentukan dengan formulasi berikut:

$$q_d = \frac{q_d}{N} \times N \dots\dots\dots(2.7.3.2)$$

Keterangan :

$q_d$  = Daya dukung terpusat tiang (ton)

$N$  = Harga  $N$  untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang

Daya dukung ujung tiang panjang dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_t = q_d \times A \dots\dots\dots(2.7.3.3)$$

Dimana :  $A$  = Luas ujung tiang ( $m^2$ )

### 2.7.3.3 Daya Dukung Ultimate Tiang

$$R_u = R_f + R_t \dots\dots\dots(2.7.3.4)$$

Dimana :

$R_u$  = Daya dukung ultimate tanah pondasi (ton)

$R_f$  = Gaya geser dinding tiang (ton)

$R_p$  = Daya dukung terpusat tiang



#### 2.7.3.4 Daya Dukung Ijin Tiang (Ra)

$$Ra = \frac{Ru}{SF} - Wp \dots\dots\dots(2.7.3.5)$$

Keterangan :

Ra = Daya dukung ijin tiang

Wp = Berat efektif tiang dan tanah di dalam tiang (ton)

SF = Faktor keamanan

#### 2.7.3.5 Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k)

$$k = 0,2 \times Eo \times D^{-0,75} \times y^{-0,5} \dots\dots\dots(2.7.3.6)$$

#### 2.7.3.6 Daya Dukung Gaya Horizontal Tiang Tegak (Ha)

$$Ha = \left( \frac{k D y}{\beta} \right) \dots\dots\dots(2.7.3.7)$$

Keterangan :

Ha = Daya dukung mendatar yang diijinkan (kg)

K = Koefisien reaksi lapisan tanah di bawah permukaan dalam arah vertikal (kg/m<sup>3</sup>)

D = Diameter tiang (cm)

Y = Besarnya pergeseran normal (cm)

#### 2.7.4 Pondasi Tiang Pancang Grup

Untuk mendapatkan daya dukung yang lebih besar dari tiang tunggal, digunakan tiang grup untuk mendapatkan daya dukung yang lebih besar sesuai yang dibutuhkan berdasarkan rumus di bawah ini :

$$QL \text{ (grup)} = QL \text{ (1 tiang)} \times n \times Ce \dots\dots\dots(2.7.4.1)$$

Keterangan :

N = Jumlah tiang

Ce = Efisiensi dalam tiang grup

Beberapa perumusan untuk menghitung nilai efisiensi

$$Q_{kel} = Q \text{ ijin 1 tiang} \times \text{efisiensi} \dots\dots\dots(2.7.4.2)$$

Untuk menghitung nilai efisiensi dapat menggunakan rumus dari metode Converce – Lebarre :

$$\Pi = 1 - [\arctan(D/S) \times (m-1) \times n + (n-1) \times m] \dots\dots\dots(2.7.4.3)$$

Keterangan :

S = Jarak antar tiang pancang

m = Jumlah tiang pancang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang pancang dalam 1 baris

Beban yang bekerja dalam 1 tiang pancang

$$P_i = \frac{V}{n} + \frac{M_x Y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x_i^2} \leq$$

Q ijin 1 tiang dalam 1 kelompok .....(2.7.4.4)

Keterangan :

N<sub>x</sub> = Jumlah tiang pancang pada arah x

N<sub>y</sub> = Jumlah tiang pancang pada arah y

X<sub>max</sub> = Jarak as tiang pancang terhadap sumbu x

Y<sub>max</sub> = Jarak as tiang pancang terhadap sumbu y

$\sum x^2$  = Jumlah kuadrat jarak as tiang pancang terhadap sumbu x

$\sum y^2$  = Jumlah kuadrat jarak as tiang pancang terhadap sumbu y

### 2.7.5 Daya Dukung Tiang Miring

Bila suatu tiang pancang menerima gaya lateral diatas 1000 bs, maka penggunaan tiang pancang miring lebih ekonomis (Teg, Wayne C. 1980). Untuk menghitung besar daya dukung tiang miring dapat menggunakan rumus dari metode Culman

1. Menentukan resultan gaya R menjadi komponen gaya vertikal dan horizontal yang terjadi pada abutmen
2. Asumsikan semua tiang dalam kelompok menahan gaya vertikal dengan rumus :

$$V_n = \frac{V}{n} + \frac{V_{ex}}{\sum(x^2)} \dots \dots \dots (2.7.5.1)$$

Keterangan :

n = Jumlah tiang dalam kelompok

ex = Eksentrisitas antara V terhadap titik berat abutment

x = Jarak antara tiang terhadap titik berat tiang

3. Setiap tiang diasumsikan sebagai tiang individu yang menahan gaya aksial R dan yang menahan gaya vertikal yang nilainya ditentukan dari 2 langkah diatas

$$R_n = \frac{V_n}{\cos \theta} \dots\dots\dots(2.7.5.2)$$

Dimana :  $\theta$  = Sudut antara bidang vertikal terhadap kemiringan tiang

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Pengumpulan Data**

Data-data perencanaan yang dibutuhkan antara lain :

1. Gambar jembatan eksisting meliputi :
  - Potongan memanjang dan potongan melintang jembatan untuk mengetahui panjang jembatan dan lebar jembatan.
  - Gambar penampang sungai untuk mengetahui data muka air banjir
2. Data bahan yang digunakan
3. Data tanah lokasi perencanaan

### **3.2 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui apa saja yang dibutuhkan untuk merencanakan suatu jembatan dengan memperoleh literatur dari :

1. Buku-buku yang berkaitan
2. Peraturan-peraturan yang berkaitan

### **3.3 Pembebanan**

Pembebanan pada perencanaan jembatan ini mengacu pada peraturan teknik perencanaan perencanaan jembatan RSNI T-02-2005 Beban-beban meliputi :

1. Pada pelat lantai kendaraan
  - a. Beban tetap
    - Berat sendiri pelat
    - Beban mati tambahan berupa beban aspal
    - Beban trotoar berupa beban kerb, beton rabat, tiang sandaran, dan pipa railing
  - b. Beban lalu lintas adalah beban truk “T”
  - c. Beban hidup adalah beban pejalan kaki

2. Pada balok memanjang
  - a. Beban Tetap
    - Berat sendiri
    - Beban pelat lantai kendaraan
    - Beban mati tambahan berupa beban aspal
  - b. Beban Lalu Lintas
    - Beban Terbagi Rata (BTR)
    - Beban Garis Terpusat (BGT)
  - c. Beban hidup berupa beban pejalan kaki
3. Pada balok melintang
  - a. Beban tetap
    - Berat sendiri balok melintang
    - Berat balok memanjang
    - Berat pelat lantai
    - Beban mati tambahan berupa beban aspal
    - Beban trotoar berupa beban kerb, beton rabat, tiang sandaran, dan pipa railing
  - b. Beban Lalu Lintas
    - Beban Terbagi Rata (BTR)
    - Beban Garis Terpusat (BGT)
    - Beban Truk "T"
  - c. Beban hidup berupa beban pejalan kaki

### 3.4 Analisis Struktur

Setelah mengetahui beban-beban yang bekerja pada struktur, maka proses selanjutnya adalah proses analisa struktur. Dalam proses analisa struktur menggunakan analisa perhitungan yang bersumber dari peraturan yang masih berlaku. Langkah-langkah dalam analisa struktur antara lain:

1. Mutu beton dan Mutu Baja
2. Mendefinisikan beban-beban yang bekerja pada struktur
3. Perhitungan pelat lantai kendaraan dan kombinasi kestabilan pelat

4. Mendefinisikan dimensi balok memanjang dan balok melintang yang akan digunakan

5. Mendefinisikan kombinasi pembebanan

Karena pembebanan telah dikalikan dengan faktor maka dikombinasi tidak perlu lagi dikalikan dengan faktor lagi. Kombinasi pembebanan terdiri dari:

- Kombinasi beban tetap (beban mati dan beban hidup)
- Kombinasi beban sementara akibat angin
- Kombinasi beban sementara akibat gempa

6. Memodelkan struktur sesuai gambar rencana yang telah dibuat

7. Menginput beban-beban yang bekerja

8. Menjalankan proses analisa struktur

9. Menganalisa gaya-gaya dalam yang bekerja,

Gaya-gaya dalam tersebut antara lain:

- Momen
- Geser
- Aksial atau gaya normal

10. Analisa joint reaction untuk perhitungan perletakan dan desain pondasi abutment

11. Desain perletakan dan pondasi abutment

Pada perletakan, joint reaction yang digunakan adalah gaya vertikal dari reaksi perletakan struktur yang telah dimodelkan.

Pada desain pondasi abutment, gaya-gaya yang bekerja antara lain :

- Gaya vertikal dari reaksi perletakan
- Beban sendiri abutment dan poer
- Beban tekanan tanah aktif

### 3.5 Kontrol Kestabilan Struktur

Setelah mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi maka perlu diadakan pengecekan terhadap kestabilan struktur dalam menaha beban-beban yang terjadi.

Kontrol-kontrol tersebut meliputi:

1. Pada pelat lantai kendaraan, kontrol pelat antara lain :
  - Kontrol tebal pelat
  - Kontrol geser pons
  - Kontrol jarak antar tulangan
2. Pada balok memanjang dan melintang, kontrol kestabilan antara lain :
  - Kontrol lendutan
  - Kontrol geser

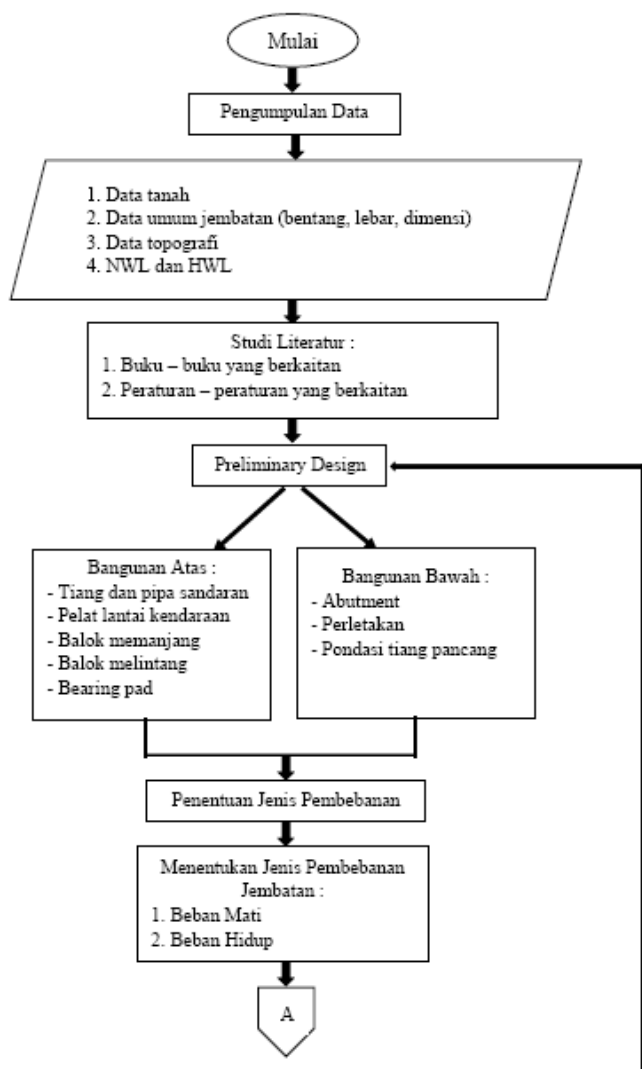
### 3.6 Perencanaan Bangunan Bawah

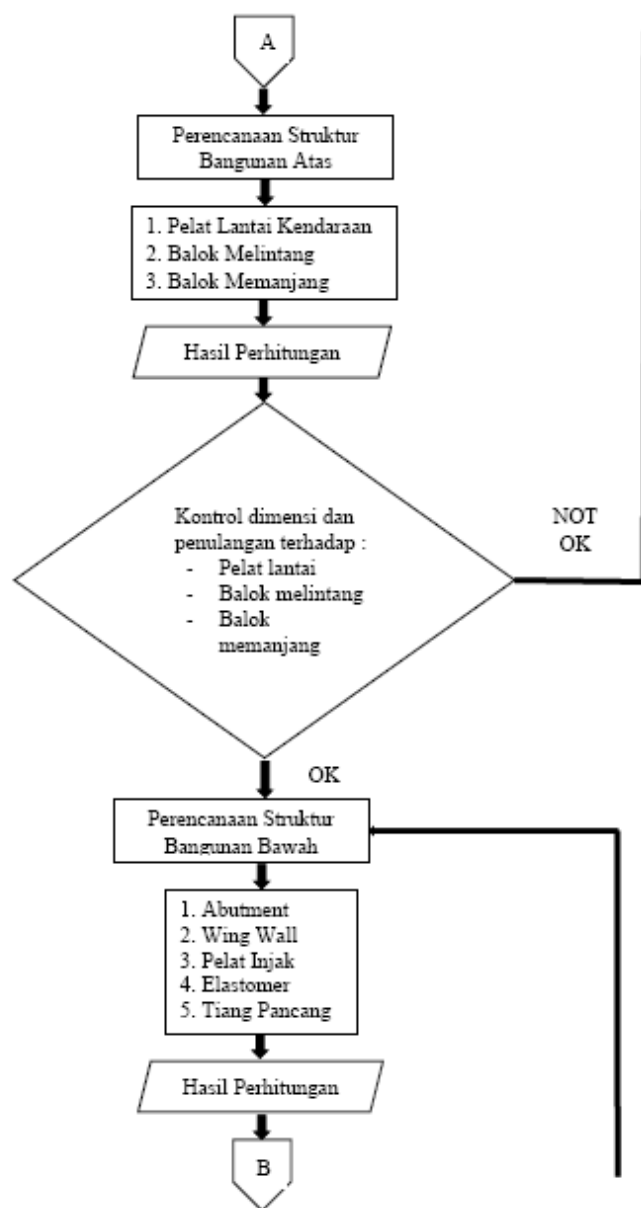
Perencanaan bangunan bawah meliputi :

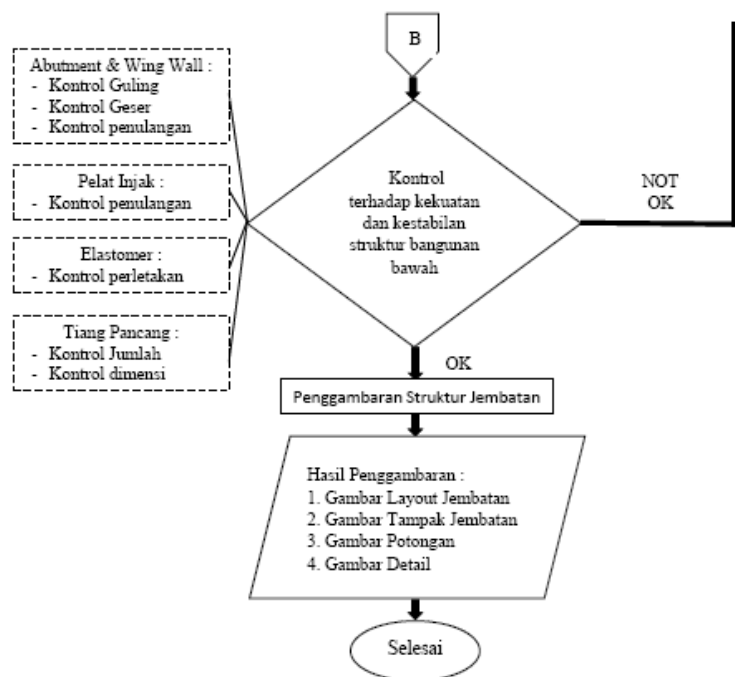
1. Perencanaan abutment, meliputi :
  - Perencanaan dimensi abutment
  - Analisa gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban yang bekerja pada abutment
  - Perencanaan tulangan abutment
2. Perencanaan pondasi tiang pancang meliputi :
  - Perencanaan pondasi tiang pancang meliputi:
  - Perencanaan kebutuhan tiang pancang dan konfigurasi tiang pancang
3. Perencanaan poer meliputi :
  - Perencanaan dimensi poer
  - Analisa gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada poer
  - Perencanaan tulangan poer
  - Kontrol geser pons



### 3.7 Diagram Alir Metodologi







*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **PERENCANAAN BANGUNAN ATAS**

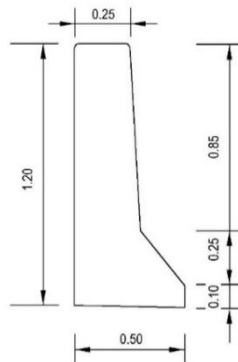
#### **4.1 Perencanaan Bangunan Sekunder**

##### **4.1.1 Perencanaan Parapet**

Parapet adalah salah satu bangunan pelengkap yang ada di konstruksi bangunan atas jembatan. Parapet dipasang pada sisi kiri dan sisi kanan jembatan agar pengguna jalan lebih nyaman.

##### **4.1.1.1 Preliminary Desain Dimensi Parapet**

Sandaran jembatan menggunakan parapet sebagai dinding penahan kendaraan, karena Jembatan Klenteng berada pada Tol Solo – Kertosono ruas Ngawi – Kertosono sehingga tidak terdapat kerb dan trotoar.



Gambar 4. 1 Penampang Parapet

Berikut adalah dimensi parapet yang direncanakan :

$$h = 1,2 \text{ m}$$

$$b1 = 0,5 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,25 \text{ m}$$

#### 4.1.1.2 Analisis Pembebanan Parapet

Pada perencanaan parapet pembebanan yang bekerja yaitu beban mati (berat sendiri parapet) dan beban hidup parapet.

- **Beban Mati**

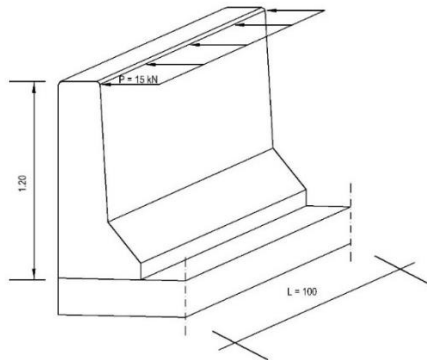
Total luas parapet =  $0,384 \text{ m}^2$  (didapatkan dari perhitungan otomatis menggunakan AutoCAD)

$$\begin{aligned} \text{Beban mati parapet} &= \text{volume} \cdot \text{BJ} \cdot \text{KuMS} \\ &= 0,384 \cdot 25 \cdot 1,3 \\ &= 12,48 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- **Beban Hidup**

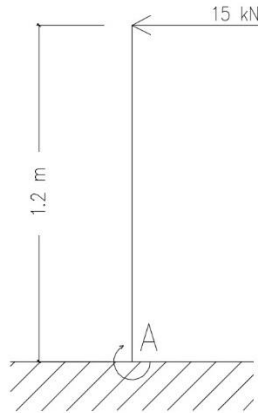
Parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan, sebagaimana fungsi kerb, sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaannya menggunakan beban hidup kerb sebesar  $15 \text{ kN/m}$ .

#### 4.1.1.3 Perhitungan Gaya Dalam



Gambar 4. 2 Permodelan Beban pada Parapet

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ +M_A - 15 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m} &= 0 \\ q \text{ Parapet}\end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Pembebanan pada Parapet

$$\begin{aligned}M_A &= 15 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m} \\ M_A &= 18 \text{ kN m} \\ V_A &= 15 \text{ kN} \\ Mu &= M_A \cdot KuTP \\ &= 18 \cdot 1,8 \\ &= 32,4 \text{ kN m}\end{aligned}$$

#### 4.1.1.4 Perhitungan Penulangan Parapet

Data

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 390 \text{ MPa}$
Selimut Beton	$d' = 30 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 220 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Lentur	$D = 13 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 10 \text{ mm}$

##### - Tulangan Lentur

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{32,4 \text{ kN m}}{0,8} = 40,5 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{40,5 \times 10^6}{1000 \cdot (120)^2} = 2,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{390} \cdot \left( \frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0,0281 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0281 \\ &= 0,0211 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{390}{0,85 \cdot 25} = 18,353$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$



$$= \frac{1}{18,353} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,353 \cdot 2,81}{390}} \right) = 0,0078$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0078 < 0,0211$$

Maka diambil  $\rho = 0,0078$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0078 \cdot 1000 \cdot 120$$

$$= 936 \text{ mm}^2$$

Direncanakan Tulangan Utama D13

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2$$

$$= 132,67 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_{s \text{ pasang}} \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{200,96 \cdot 1000}{936}$$

$$= 141,74 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan utama D13 – 120 ( $A_s = 1105,58 \text{ mm}^2$ )

### - Tulangan Bagi

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$A_s' = 50\% \cdot A_s$$

$$= 50\% \cdot 936$$

$$= 468 \text{ mm}^2$$

Direncanakan Tulangan Bagi Ø8

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

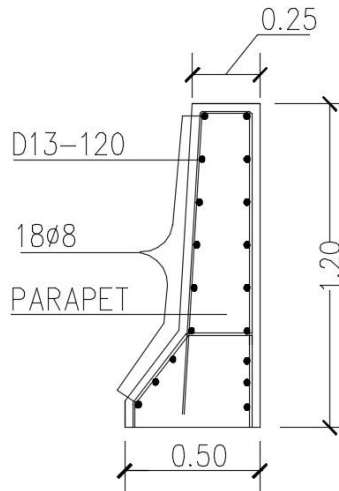
$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2$$

$$= 50,24 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{468}{50,24} = 9,32 \approx 10$$

Maka, dipasang tulangan bagi 10 Ø8

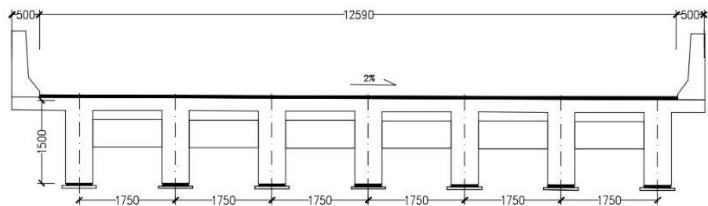


Gambar 4. 4 Penulangan pada Parapet

## 4.2 Perencanaan Bangunan Utama

### 4.2.1 Perencanaan Pelat Lantai Jembatan

Perencanaan pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $t_{\min}$  yang memenuhi ketentuan pada **RSNI T-12-2004 pasal 5.5.2** mengenai tebal minimum pelat. Dalam menentukan tebal pelat yang dipakai maka harus dilakukan control geser pons terhadap ketebalan pelat akibat pembebanan roda truck ( $P_{TT}$ ).



Gambar 4. 5 Penampang Melintang Pelat Lantai Kendaraan

#### 4.2.1.1 Preliminary Desain Dimensi Pelat Lantai Jembatan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $t_s$  memenuhi kedua ketentuan:

$$t_s \geq 200 \text{ mm (SNI T-12-2004 pasal 5.5-2)}$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm (SNI T-12-2004 pasal 5.5-3)}$$

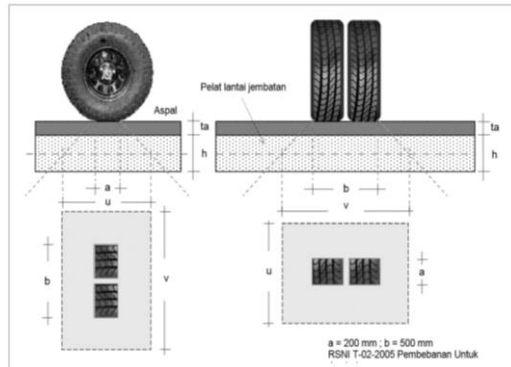
$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm}$$

$$t_s \geq 100 + 0,04 l$$

$$t_s \geq 100 + 0,04 \cdot 1680$$

$$t_s \geq 167,2 \text{ mm}$$

Sehingga, direncanakan tebal plat lantai jembatan setebal 230 mm



Gambar 4. 6 Geser Pons

## Kontrol Geser Pons

$$t_s = 230 \text{ mm}$$

$$t_a = 70 \text{ mm}$$

$$a = 200 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$P_{TT} = 112,5 \text{ kN}$$

$$K_{uTT} = 1,8$$

$$DLA = 0,3$$

Dimana,

$$\begin{aligned} u &= a + (2 \cdot t_a) + t_s \\ &= 200 + (2 \cdot 70) + 230 \\ &= 570 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= b + (2 \cdot t_a) + t_s \\ &= 500 + (2 \cdot 70) + 230 \\ &= 870 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b' &= (2 \cdot u) + (2 \cdot v) \\ &= (2 \cdot 570 \text{ mm}) + (2 \cdot 870 \text{ mm}) \\ &= 2880 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{pons} &= b' \cdot d \\ &= 2880 \text{ mm} \cdot (230 \text{ mm} - 30 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 576000 \text{ mm}^2 \\
 P_{\text{truck}} &= (1 + \text{DLA}) \cdot \text{PTT} \cdot K_{\text{uTT}} \\
 &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 \text{ kN} \cdot 1,8 \\
 &= 263,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

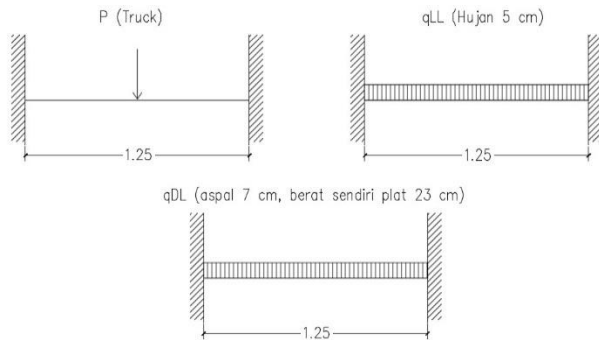
Kekuatan nominal pelat lantai terhadap geser tanpa tulangan :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b' \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 2880 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \\
 &= 480000 \text{ N} \\
 &= 480 \text{ kN} \\
 V_u &= \Phi \cdot V_c \\
 &= 0,7 \cdot 480 \text{ kN} \\
 &= 336 \text{ kN} \\
 V_u &> P_{\text{truck}} \\
 336 \text{ kN} &> 263,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.1.2 Analisis Pembebanan

##### - Pelat Lantai Kendaraan

Pada Plat lantai kendaraan pembebanan yang bekerja yaitu beban mati ( berat sendiri plat, berat lapisan aspal, dan berat genangan air hujan ), serta beban hidup roda truck “T”



Gambar 4. 7 Pembebanan Pelat Lantai

Tabel 4. 1 Analisis Pembebanan Beban Mati

Jenis beban		Rumus	tebal (m)	BJ (t/m <sup>3</sup> )	q (t/m <sup>2</sup> )
<b><u>Beban Mati</u></b>	Berat pelat	ts x BV	0.23	2.5	0.575
	Aspal	ta x Bv	0.07	2.2	0.154
	q DL				0.729
	qu DL (q DL x 1,3)				<b>0.9477</b>

Tabel 4. 2 Analisis Pembebanan Beban Hidup

Jenis beban		Rumus	beban T (ton)	Faktor	P (ton)
<b><u>Beban Hidup</u></b>	P akibat T	T x K D	11.25	1.4	15.75
	Pu akibat T	P ak T x Ku	15.75	1.8	<b>28.35</b>
			th (m)		q (t/m)
	q akibat air hujan	th x BV	0.02	1	0.02

	q akibat air hujan	qh x Ku	0.02	1.8	<b>0.036</b>
--	-----------------------	---------	------	-----	--------------

#### 4.2.1.3 Perhitungan Gaya Dalam

Momen akibat beban hidup dari roda truck “T” dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut ini :

$$\begin{aligned} P \text{ akibat T} &= T \times K D \\ &= 11,25 \text{ ton} \times 1,4 \\ &= 15,75 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ akibat T} &= P \text{ akibat T} \times K_u \\ &= 15,75 \text{ ton} \times 1,8 \\ &= 28,35 \text{ ton} \end{aligned}$$

M tumpuan akibat beban truck :

$$\begin{aligned} M \text{ tumpuan} &= -1/8 \cdot P \cdot L \\ &= -1/8 \cdot 28,35 \text{ ton} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 4,4 \text{ ton m} \end{aligned}$$

M lapangan akibat beban truck :

$$\begin{aligned} M \text{ lapangan} &= +1/8 \cdot P \cdot L \\ &= +1/8 \cdot 28,35 \text{ ton} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 4,4 \text{ ton m} \end{aligned}$$

M tumpuan akibat beban air hujan :

$$\begin{aligned} M \text{ tumpuan} &= -1/12 \cdot q \cdot L^2 \\ &= -1/12 \cdot 0,036 \text{ ton/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2 \\ &= 0,0046 \text{ ton m} \end{aligned}$$

M lapangan akibat beban air hujan :

$$\begin{aligned} M \text{ lapangan} &= +1/24 \cdot q \cdot L^2 \\ &= +1/24 \cdot 0,036 \text{ ton/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2 \\ &= 0,0023 \text{ ton m} \end{aligned}$$

M tumpuan akibat berat sendiri pelat

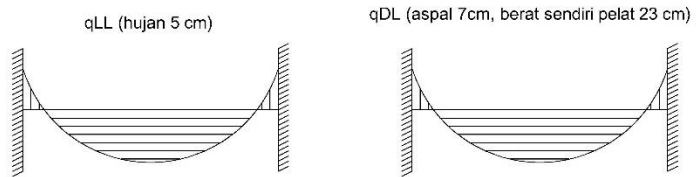
$$\begin{aligned} M \text{ tumpuan} &= -1/12 \cdot q \cdot L^2 \\ &= -1/12 \cdot 0,7475 \text{ ton/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2 \\ &= 0,097 \text{ ton m} \end{aligned}$$

M lapangan akibat berat sendiri pelat :

$$M \text{ lapangan} = +1/24 \cdot q \cdot L^2$$

$$= +1/24 \cdot 0,7475 \text{ ton/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2$$

$$= 0,048 \text{ ton m}$$



Gambar 4. 8 Bidang Momen Pelat Lantai

Tabel 4. 3 Momen Tumpuan Ultimate Pelat Kendaraan

Jenis Momen	Rumus	Beban	L	Mtu (t-m/m')
mtu akibat DL	$-1/12 \cdot q \cdot L^2$	0.9477	1.25	-0.1233984
mtu akibat hujan	$-1/12 \cdot q \cdot L^2$	0.036	1.25	-0.0046875
mtu akibat LL	$-1/8 \cdot P \cdot L$	28.35	1.25	-4.4296875
			Mtu	<b>-4.5577734</b>

Tabel 4. 4 Momen Lapangan Ultimate Pelat Kendaraan

jenis momen	Rumus	Beban	L	Mlu (t-m/m')
mlu akibat DL	$+1/24 \cdot q \cdot L^2$	0.9477	1.25	0.0616992
mlu akibat hujan	$+1/24 \cdot q \cdot L^2$	0.036	1.25	0.0023438
mlu akibat LL	$+1/8 \cdot P \cdot L$	28.35	1.25	4.4296875
			Mlu	<b>4.4937305</b>



#### 4.2.1.4 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai Pelat Lantai Kendaraan

##### - Tulangan Tumpuan

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tebal Pelat	$t_s = 230 \text{ mm}$
Selimit Beton	$d' = 30 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 200 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Lentur	$D = 32 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 25 \text{ mm}$
Mu	$= 45,6 \text{ kN}$

(Mu dipilih yang paling besar antara  $M_{\text{tumpuan}}$  dan  $M_{\text{lapangan}}$ )

Faktor distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0,85 \quad (f_c' < 30 \text{ MPa})$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{45,6 \text{ kN m}}{0,8} = 57 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{57 \times 10^6}{1000 \cdot (200)^2} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,43}{400}} \right) \\ &= 0,0037\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0037 < 0,0203\end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0037$

Perhitungan Tulangan Utama

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0037 \cdot 1000 \cdot 200 \\ &= 740 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 200,96 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{200,96 \cdot 1000}{740} \\ &= 271,57 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk memudahkan pelaksanaan di lapangan, dan agar efisien maka dipasang tulangan D16 – 150 mm ( $A_s = 111 \text{ mm}^2$ ) menyesuaikan dengan tulangan pelat kantilever.

#### - Tulangan Bagi

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned}A_s' &= 50\% \cdot A_s \\ &= 50\% \cdot 740 \\ &= 370 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\
 &= 132,67 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{132,67 \cdot 1000}{360} \\
 &= 368,53 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 350 ( $A_s = 379,06 \text{ mm}^2$ )

#### - Tulangan Lapangan

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tebal Pelat	$t_s = 230 \text{ mm}$
Selimit Beton	$d' = 30 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 200 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Lentur	$D = 16 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 13 \text{ mm}$
$M_u = 45,3 \text{ kN}$	

( $M_u$  dipilih yang paling besar antara  $M_{tumpuan}$  dan  $M_{lapangan}$ )

Faktor distribusi tegangan beton,  $\beta_1 = 0,85$  ( $f_c' < 30 \text{ MPa}$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{45,6 \text{ kN m}}{0,8} = 57 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{57 \times 10^6}{1000 \cdot (200)^2} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
&= 0,0271 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
&= 0,75 \cdot 0,0271 \\
&= 0,0203 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 1,43}{400}} \right) \\
&= 0,0037
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 &< 0,0037 < 0,0203 \\
\text{Maka diambil } \rho &= 0,0037
\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Utama

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
&= 0,0037 \cdot 1000 \cdot 200 \\
&= 740 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned}
A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
&= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\
&= 200,96 \text{ mm}^2 \\
S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
&= \frac{200,96 \cdot 1000}{740}
\end{aligned}$$

$$= 271,57 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 250 ( $A_s = 803,84 \text{ mm}^2$ )

#### - Tulangan Bagi

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned} A_s' &= 50\% \cdot A_s \\ &= 50\% \cdot 740 \\ &= 370 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

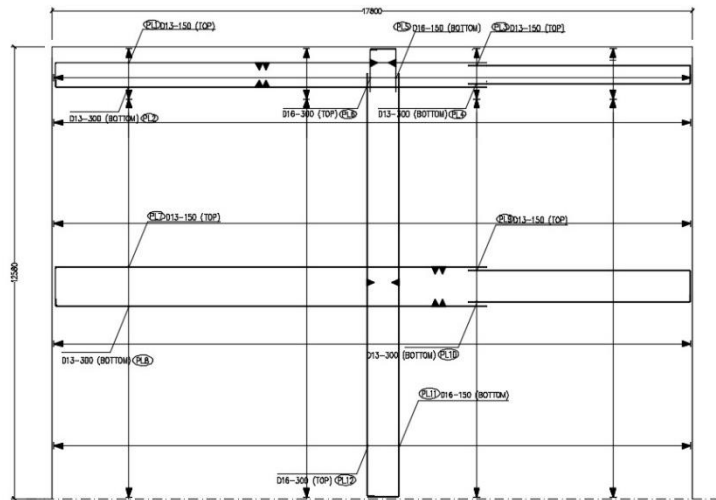
Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

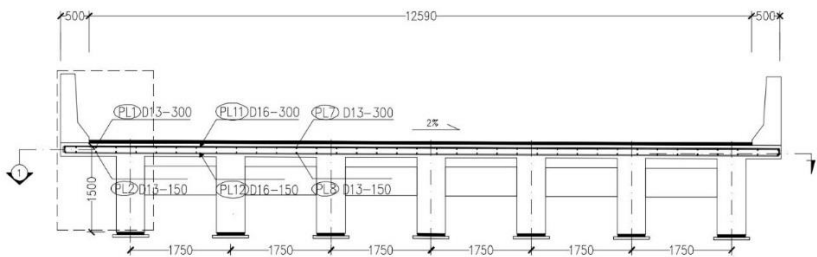
Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{132,67 \cdot 1000}{740} \\ &= 179,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 150 ( $A_s = 884,47 \text{ mm}^2$ )



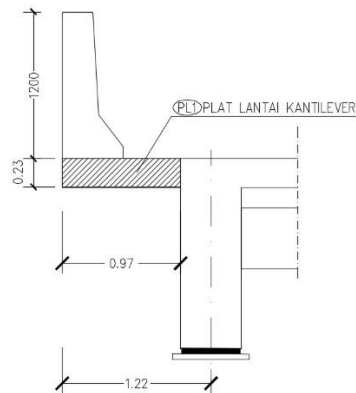
Gambar 4. 9 Denah Penulangan Pelat Lantai



Gambar 4. 10 Penulangan pada Pelat Lantai

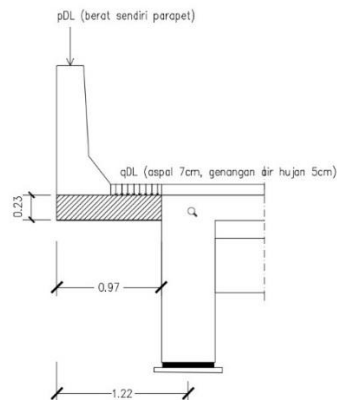
#### 4.2.2 Perencanaan Pelat Kantilever

Perencanaan pelat kantilever harus mempunyai tebal minimum  $t_{min}$  yang memenuhi ketentuan dalam **RSNI T-12-2004 pasal 5.5.2** mengenai tebal minimum pelat lantai kendaraan.



Gambar 4. 11 Potongan Melintang Pelat Lantai Kantilever

#### 4.2.2.1 Analisis Pembebanan Pada Pelat Kantilever



Gambar 4. 12 Pembebanan pada Pelat Kantilever

Pada pelat kantilever pembebanan yang bekerja yaitu berat sendiri pelat, berat genangan air hujan, berat lapisan aspal dan berat sendiri parapet.

Tabel 4. 5 Beban Mati Merata pada Pelat Kantilever

<b><u>Beban</u></b> <b><u>Mati</u></b> <b><u>Merata</u></b> <b><u>a</u></b>	<b>Jenis beban</b>	<b>Rumus</b>	<b>Ttebal (m)</b>	<b>BJ t/m<sup>3</sup></b>	<b>q (t/m<sup>2</sup>)</b>
	Berat plat	ts x BV	0.23	2.5	0.575
	Aspal	ta x BV	0.07	2.2	0.154
	q DL				0.729
	qu DL (q DL x 1,3)				<b>0.9477</b>

Tabel 4. 6 Beban Mati Merata pada Pelat Kantilever

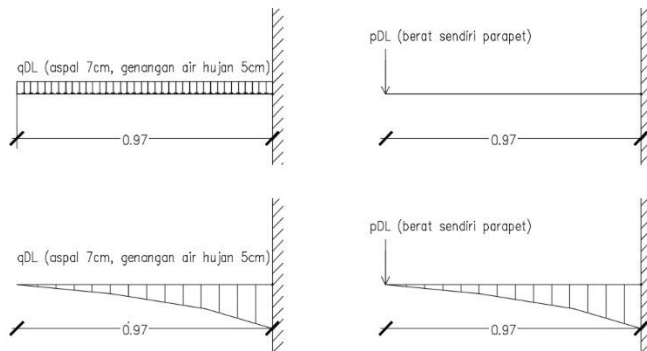
<b><u>Beban</u></b> <b><u>Mati</u></b> <b><u>Terpusat</u></b> <b><u>at</u></b>	<b>Jenis beban</b>	<b>Rumus</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>BJ (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>P (ton)</b>
	Parapet	Luas Penampang x BV	0.384	2.5	0.96
	P DL				0.96
	Pu DL (P DL x 1,3)				<b>1.248</b>

Tabel 4. 7 Beban Hidup Terpusat dan Merata pada Pelat Kantilever



<b><u>Beban Hidup Terpusa</u></b> <b><u>t</u></b>	<b>Jenis Beban</b>	<b>Rumus</b>	<b>Beban T (ton)</b>	<b>Faktor</b>	<b>P (ton)</b>
	P akibat T	$T \times K_D$	0	1.4	0
	Pu akibat T	$P_{ak} T \times K_u$	0	1.8	0
<b><u>Beban Hidup Merata</u></b>	<b>Jenis Beban</b>	<b>Rumus</b>	<b>th (m)</b>	<b>Faktor</b>	<b>q (t/m)</b>
	q akibat air hujan	$th \times BV$	0.02	1	0.02
	q akibat air hujan	$qh \times K_u$	0.02	1.8	<b>0.036</b>

#### 4.2.2.2 Perhitungan Gaya Dalam Pelat Kantilever



Gambar 4. 13 Analisa Gaya Dalam pada Pembebanan Parapet

Tabel 4. 8 Momen Tumpuan Ultimate

jenis momen tumpuan	Rumus	beban	L	Mtu (t-m/m')
momen akibat beban mati	$-1/12.q L^2$	0.9477	1.25	- 0.1233984
momen akibat air hujan	$-1/12.q L^2$	0.036	1.25	- 0.0046875
momen akibat berat parapet	$-1/8.P.L$	1.248	1.25	-0.195
			Mtu	- <b>0.3230859</b>

Tabel 4. 9 Momen Lapangan Ultimate

jenis momen lapangan	rumus	beban	L	Mlu (t-m/m')
momen akibat beban mati	$+1/24.q L^2$	0.9477	1.25	0.0616992
momen akibat air hujan	$+1/24.q L^2$	0.036	1.25	0.0023438
momen akibat berat parapet	$+1/8.P.L$	1.248	1.25	0.195
			Mlu	0.259043

#### 4.2.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat Kantilever

##### - Tulangan Tumpuan

##### - Tulangan Utama

Mutu Beton

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

Mutu Baja Tulangan

$f_y = 400 \text{ MPa}$

Tebal Pelat

$t_s = 230 \text{ mm}$

Selimut Beton

$d' = 30 \text{ mm}$

Tebal Efektif

$d = 200 \text{ mm}$

Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Lentur	$D = 16 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 13 \text{ mm}$
$M_u$	$= 3,2 \text{ kN}$

Faktor distribusi tegangan beton,  $\beta_1 = 0,85$   
 $(f_c' < 30 \text{ MPa})$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{3,2 \text{ kN m}}{0,8} = 4 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4,5 \times 10^6}{1000 \cdot (200)^2} = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0271$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,1}{400}} \right) \\ &= 0,0003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0003 < 0,0203$$

Maka diambil  $\rho = 0,0035$

Perhitungan Tulangan Utama

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 200 \\ &= 700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 200,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{200,96 \cdot 1000}{700} \\ &= 287,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 250 ( $A_s = 803,84 \text{ mm}^2$ )

Untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan, maka dipasang tulangan D16 – 200 menyesuaikan dengan tulangan pelat lantai kendaraan.

#### **- Tulangan Bagi**

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned} A_s' &= 50\% \cdot A_s \\ &= 50\% \cdot 700 \\ &= 350 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$S = \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{132,67 \cdot 1000}{350}$$

$$= 379,06 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 150

(As = 884,43 mm<sup>2</sup>)

## - Tulangan Lapangan

### - Tulangan Utama

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tebal Pelat	$t_s = 230 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 30 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 200 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Lentur	$D = 16 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$\emptyset = 13 \text{ mm}$
Mu	$= 3,6 \text{ kN}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0,85$
$(f_c' < 30 \text{ MPa})$	

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{3,2 \text{ kN m}}{0,8} = 4 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4,5 \times 10^6}{1000 \cdot (200)^2} = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,1}{400}} \right) \\
 &= 0,0003
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0003 < 0,0203 \\
 \text{Maka diambil } \rho &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Utama :

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 200 \\
 &= 700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\
 &= 200,96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{200,96 \cdot 1000}{700} \\
 &= 287,09 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 250 mm ( $A_s = 803,84 \text{ mm}^2$ )

Untuk kemudahan pelaksanaan di lapangan, tulangan yang dipasang disesuaikan dengan tulangan pelat lantai. Yaitu D16 – 300 untuk tulangan lapangan dan D16 – 150 untuk tulangan tumpuan.

**- Tulangan Bagi**

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned} As' &= 50\% \cdot As \\ &= 50\% \cdot 700 \\ &= 350 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

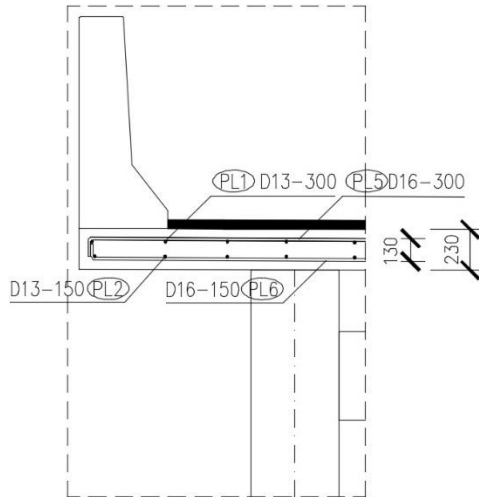
Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ As &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ As &= 132,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{As \text{ pasang} \cdot b}{As \text{ perlu}} \\ &= \frac{132,67 \cdot 1000}{700} \\ &= 189,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 150  
( $As = 884,43 \text{ mm}^2$ )



Gambar 4. 14 Penulangan Pelat Lantai Kantilever

## 4.2.3 Perencanaan Balok Tengah

### 4.2.3.1 Preliminary Design Girder Tengah

Perencanaan dimensi awal untuk balok tengah disesuaikan berdasarkan **RSNI T-12-2004 pasal 9.2.1**

- a. Menentukan dimensi balok

Tinggi Balok (h) dihitung melalui pendekatan

$$\left(\frac{1}{12}L \geq h \geq \frac{1}{15}L\right)$$

$$a. \frac{1}{12}L = \frac{1}{12} \times 16800 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$$

$$b. \frac{1}{15}L = \frac{1}{15} \times 16800 \text{ mm} = 1120 \text{ mm}$$

Jadi tinggi girder (h) yang digunakan = 1200 mm  
(OK)

Lebar Girder (bw) dihitung melalui pendekatan

$$\left(\frac{2}{3}h \geq bw \geq \frac{1}{3}h\right)$$



$$a. \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 1200 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$$

$$b. \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \times 1200 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

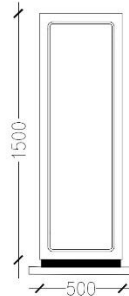
Jadi lebar girder (bw) yang digunakan = 800 mm  
(OK)

#### 4.2.3.2 Analisis Pembebanan Girder Tengah

##### Beban Mati

- Beban Mati Merata

a. Berat Balok Girder



Gambar 4. 15 Penampang Balok Girder Tengah

$$\begin{aligned} q \text{ girder} &= h \times b \times W_c \\ &= 1,2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 24 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Beban Pelat Lantai

$$\begin{aligned} q \text{ pelat} &= 0,23 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 10,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Beban Aspal

$$\begin{aligned} q \text{ aspal} &= 0,07 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \\ &= 2,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban} &= 24 \text{ kN} + 10,06 \text{ kN} + 2,70 \text{ kN} \\ &= 36,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban Mati Terpusat

a. Berat sendiri diafragma

$$q \text{ dia} = 0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$= 4,69 \text{ kN}$$

Total beban = 4,69 kN

### Beban Hidup

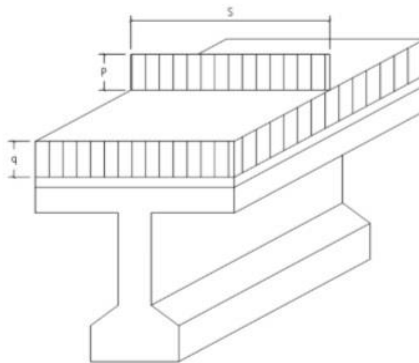
Beban Hidup pada girder terdiri dari beban terbagi rata ( BTR ) dan beban garis terpusat ( BGT ) seperti pada gambar 4.11. Dan sesuai dengan **RSNI T-02-2005 Pasal 6.3.1**, BTR tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$q = 9 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 9 \times (1 \times 15/L) \quad \text{untuk } L \geq 30 \text{ m}$$

Sedangkan untuk BGT mempunyai intensitas :

$$P = 49 \text{ kN/m}$$



Gambar 4. 16 Beban Lajur Girder Tengah

#### - Beban Hidup Merata

##### a. Beban Air Hujan

$$\begin{aligned} q_{\text{hujan}} &= 0,02 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 1 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### b. Beban BTR

BTR tergantung pada panjang total L yang dibebani dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

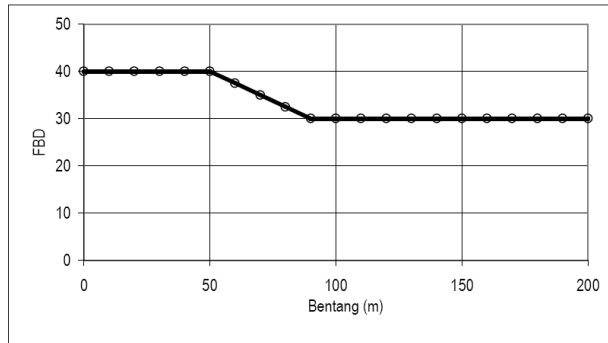
$$\begin{aligned}
 q &= 9 \text{ kPa} && \text{untuk } L < 30 \text{ m} \\
 q &= 9 \times (1 - 1/5L) \text{ kPa} && \text{untuk } L \geq 30 \text{ m} \\
 q_{\text{BTR}} &= 9 \text{ kPa} \times 1,75 \text{ m} \\
 &= 15,75 \text{ kN/m} \\
 \text{Total beban} &= 0,04 \text{ kN} + 15,75 \text{ kN/m} \\
 &= 15,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Beban Hidup Terpusat

a. P BGT

Nilai P untuk BGT = 49 kN/m

Faktor beban dinamis (DLA) untuk BGT diambil nilai sesuai dengan grafik di bawah ini :



Gambar 4. 17 Faktor Beban Dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur “BGT”

$$\begin{aligned}
 P_{\text{BGT}} &= 49 \text{ kN} \times 1,75 \text{ m} \times 1,4 \\
 &= 120,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. P Truck

DLA = 0,3 (RSNI T – 02 – 2005)

KuTT = 1,8 (RSNI T – 02 – 2005)

Tu = 112,5 kN (RSNI T – 02 – 2005)

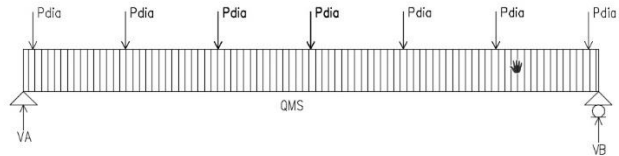
$$\begin{aligned}
 P_{\text{truck}} &= (1 + \text{DLA}) \times Tu \times KuTT \\
 &= (1 + 0,3) \times 112,5 \times 1,8 \\
 &= 263,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total beban} &= 120,05 \text{ kN} + 263,25 \text{ kN} \\ &= 383,30 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### 4.2.3.3 Perhitungan Gaya Dalam

- Reaksi perletakan pada balok

*Akibat beban mati*



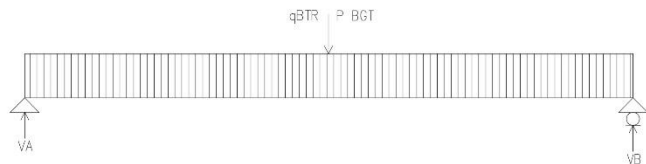
Gambar 4. 18 Permodelan Beban Mati Girder Tengah

$$\begin{aligned}\text{Beban mati merata, } V_A &= 0,5 \cdot \text{DL} \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 36,76 \text{ kN/m} \cdot 16,8 \text{ m} \\ &= 308,78 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati terpusat, } V_A &= 0,5 \cdot n \text{ diafragma} \cdot \text{pDL} \\ &= 0,5 \cdot 5 \cdot 4,69 \text{ kN} \\ &= 11,73 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total reaksi beban mati} &= 308,78 \text{ kN} + 11,73 \text{ kN} \\ &= 320,51 \text{ kN}\end{aligned}$$

*Akibat beban hidup*



Gambar 4. 19 Permodelan Beban Hidup Girder Tengah

$$\begin{aligned}\text{Beban terbagi rata, } V_A &= 0,5 \cdot \text{qLL} \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 15,79 \text{ kN/m} \cdot 16,8 \text{ m} \\ &= 132,64 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Garis Terpusat, } V_A &= 0,5 \cdot p_{LL} \\
 &= 0,5 \cdot 383,30 \text{ kN} \\
 &= 191,65 \text{ kN} \\
 \text{Total reaksi beban hidup} &= 132,64 \text{ kN} + 191,65 \text{ kN} \\
 &= 324,29 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Momen dan geser pada } 1/8 \text{ bentang akibat beban mati} \\
 M_{DL} &= (V_A \cdot 1/8L) - (P_d \cdot 1,7\text{m}) - (q_{DL} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\
 &= (320,51 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 1,7 \text{ m}) - \\
 &\quad (36,76 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\
 &= 584,04 \text{ kN m} \\
 V_{DL} &= V_A - P_d - (q_{DL} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 320,51 \text{ kN} - 4,69 \text{ kN} - (36,76 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 238,62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Momen dan geser pada } 1/4 \text{ bentang akibat beban mati} \\
 M_{DL} &= (V_A \cdot 1/4 L) - (P_d \cdot 3,8 \text{ m}) - \\
 &\quad (q_{DL} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= (320,51 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 3,8 \text{ m}) - \\
 &\quad (36,76 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 1004,10 \text{ kN m} \\
 V_{DL} &= V_A - P_d - (q_{DL} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 320,51 \text{ kN} - 4,69 \text{ kN} - (36,76 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 161,43 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Momen dan geser pada } 3/8 \text{ bentang akibat beban mati} \\
 M_{DL} &= (V_A \cdot 3/8 L) - (P_d \cdot 5,9 \text{ m}) - (P_d \cdot 1,9 \text{ m}) - \\
 &\quad (q_{DL} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\
 &= (320,51 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 5,9 \text{ m}) - \\
 &\quad (4,69 \text{ kN} \cdot 1,9 \text{ m}) - (36,76 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\
 &= 1253,19 \text{ kN m} \\
 V_{DL} &= V_A - (2 \cdot P_d) - (q_{DL} \cdot 6,3 \text{ m}) \\
 &= 320,51 \text{ kN} - (2 \cdot 4,69 \text{ kN}) - (36,76 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 79,54 \text{ kN}$$

Momen dan geser pada  $\frac{1}{2}$  bentang akibat beban mati

$$M_{DL} = (V_A \cdot \frac{1}{2} L) - (P_d \cdot 8 \text{ m}) - (P_d \cdot 4 \text{ m}) - (q_{DL} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m})$$

$$= (320,51 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m}) - (36,76 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m})$$

$$= 1339,11 \text{ kN m}$$

$$V_{DL} = V_A - (2 \cdot P_d) - (q_{DL} \cdot 8,4 \text{ m})$$

$$= 320,51 \text{ kN} - (2 \cdot 4,69 \text{ kN}) - (36,76 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m})$$

$$= 2,35 \text{ kN}$$

Momen dan geser pada  $\frac{1}{8}$  bentang akibat beban hidup

$$M_{LL} = (V_A \cdot \frac{1}{8} L) - (q_{LL} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m})$$

$$= (324,29 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m})$$

$$= 646,19 \text{ kN m}$$

$$V_{LL} = V_A - (q_{LL} \cdot 2,1 \text{ m})$$

$$= 324,29 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 2,1 \text{ m})$$

$$= 291,13 \text{ kN}$$

Momen dan geser pada  $\frac{1}{4}$  bentang akibat beban hidup

$$M_{LL} = (V_A \cdot \frac{1}{4} L) - (q_{LL} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m})$$

$$= (324,29 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m})$$

$$= 1222,75 \text{ kN m}$$

$$V_{LL} = V_A - (q_{LL} \cdot 4,2 \text{ m})$$

$$= 324,29 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 4,2 \text{ m})$$

$$= 257,97 \text{ kN}$$

Momen dan geser pada  $\frac{3}{8}$  bentang akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= (V_A \cdot 3/8 L) - (q_{LL} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\
 &= (324,29 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\
 &= 1729,67 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 6,3 \text{ m}) \\
 &= 324,29 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 6,3 \text{ m}) \\
 &= 224,81 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Momen dan geser pada 1/2 bentang akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= (V_A \cdot 1/2 L) - (q_{LL} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= (324,29 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 2166,96 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 324,29 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 191,65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### **Kombinasi Pembebanan**

Pada 1/8 bentang akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 584,04 \text{ kN m}) + (2 \cdot 646,19 \text{ kN m}) \\
 &= 2051,63 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 238,62 \text{ kN} + 2 \cdot 291,13 \text{ kN} \\
 &= 892,47 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada 1/4 bentang akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 1004,10 \text{ kN m}) + (2 \cdot 1222,75 \text{ kN m}) \\
 &= 3750,83 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 79,54 \text{ kN} + 2 \cdot 257,97 \text{ kN} \\
 &= 619,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada 3/8 bentang akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 1253,19 \text{ kN m}) + (2 \cdot 1729,67 \text{ kN m}) \\
 &= 5088,49 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 79,54 \text{ kN} + 2 \cdot 224,81 \text{ kN} \\
 &= 553,02 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada ½ bentang akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 1339,11 \text{ kN m}) + (2 \cdot 2166,96 \text{ kN m}) \\
 &= 6074,76 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 2,35 \text{ kN} + 2 \cdot 191,65 \text{ kN} \\
 &= 386,36 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Akibat Beban Truck

$$\begin{aligned}
 T_u &= P_{\text{truck}} \\
 &= (1 + DLA) \cdot T_u \cdot K_{uTT} \\
 &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 \text{ kN} \cdot 1,8 \\
 &= 263,25 \text{ kN} \\
 M_t &= T_u \cdot (0,5 \cdot S) \\
 &= 263,25 \text{ kN} \cdot (0,5 \cdot 1,75 \text{ m}) \\
 &= 230,34 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3.4 Perhitungan Penulangan Pada Balok Tengah

♦ *Penulangan balok pada 1/8 bentang*

##### - Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &= 2051,63 \text{ kN m} \\
 f_{c'} &= 25 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 h &= 1200 \text{ mm} \\
 b &= 800 \text{ mm} \\
 d' &= 50 \text{ mm} \\
 d &= 1150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{2051,63 \text{ kN m}}{0,8} = 2564,54 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{2564,54 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 2,42}{400}} \right) \\ &= 0,0064 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0064 < 0,0203 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0064$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,0064 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm}$$

$$A_s = 5888 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{5888 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 7,32$$

Maka dipakai tulangan lentur 8 D32

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= A_s \text{ tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 8 \\ &= 6430,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Penampang

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &< A_s \text{ pasang} \\ 5888 \text{ mm}^2 &< 6430,72 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{6430,72 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 500} \\ &= 242,10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 242,10 \cdot 800 \cdot \left( 1150 - \frac{242,10}{2} \right) \\ &= 4234849515 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ perlu} &< M_n \text{ pasang} \\ 2564540000 \text{ N mm} &< 2698227197 \text{ N mm (OK)} \end{aligned}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat duktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 3220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

### **- Tulangan Geser**

$$V_u = 892470 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 766666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c \\
 &= \frac{892470}{0,70} - 766666,67 \\
 &= 508290,47 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\
 &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\
 &= 306666,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser

1.  $V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$   
 $892470 > 268333,33$  **(NOT OK)**
2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $268333,33 < 892470 > 536666,67$  **(NOT OK)**
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}})$   
 $536666,67 < 892470 > 751333,34$  **(NOT OK)**
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $751333,34 < 892470 < 1610000$  **(OK)**
5.  $\Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $1610000 > 892470 < 2683333,34$  **(NOT OK)**

Didapat perhitungan di atas kondisi 4 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter Ø12

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 226,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{508290,47} \\ &= 122,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 120mm

#### - Tulangan Torsi

$$\begin{aligned} f_c' &= 25 \text{ Mpa} \\ f_y &= 400 \text{ Mpa} \\ \phi &= 0,7 \\ h &= 1200 \text{ mm} \\ b &= 800 \text{ mm} \\ d' &= 50 \text{ mm} \\ d &= 1150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} = \frac{236,93}{0,7} \\ &= 338,47 \text{ kN m} \\ A_{cp} &= h \cdot b \\ &= 1200 \cdot 800 \\ &= 960000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\
 &= 2 \cdot (1200 + 800) \\
 &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 236930000 &= \frac{0.7 \times \sqrt{25}}{12} \times \left( \frac{960000^2}{4000} \right) \\
 236930000 &> 67200000 \\
 &\text{(perlu tulangan torsi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') \times (b - 2 \cdot d') \\
 &= (1200 - 2 \cdot 50) \times (800 - 2 \cdot 50) \\
 &= 770000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) \\
 &= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (500 - 2 \cdot 62,5) \\
 &= 2825 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 770000 \\
 &= 654500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas sengkang per torsi

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{vt}}{1000} &= \frac{338470000}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1} \\
 A_{vt} &= 646,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{A_{vt}}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot 2\theta \\
 &= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1
 \end{aligned}$$

$$= 1826,16 \text{ mm}^2$$

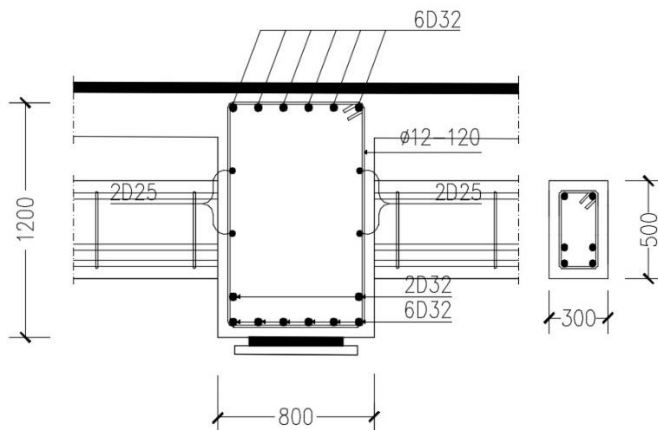
Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0.25 \cdot 3.14 \cdot 625 \\ &= 490.625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1826,16}{490.625} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 20 Penulangan Balok Tengah pada 1/8 Bentang

♦ *Penulangan balok pada 1/4 bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 3750,83 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{3750,83 \text{ kN m}}{0,8} = 4688,54 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4688,54 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 4,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 4,43}{400}} \right) \\ &= 0,0126 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0126 < 0,0203$$

Maka diambil  $\rho = 0,0126$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0126 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm}$$

$$= 11592 \text{ mm}^2$$



Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{11592 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 14,42$$

Maka dipakai tulangan lentur 16 D32

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= A_s \text{ tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 16 \\ &= 12861,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Penampang

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &< A_s \text{ pasang} \\ 11592 \text{ mm}^2 &< 12861,44 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{12861,44 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 500} \\ &= 484,20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 484,20 \cdot 800 \cdot \left( 1150 - \frac{484,20}{2} \right) \\ &= 7473288060 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$M_n \text{ perlu} < M_n \text{ pasang}$

$$4688540000 \text{ N mm} < 7473288060 \text{ N mm (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat daktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 3220 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

#### **- Tulangan Geser**

$$V_u = 619340 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 766666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c \\ &= \frac{619340}{0,7} - 766666,67 \\ &= 118104,76 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\
 &= 306666,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser

$$\begin{aligned}
 1. V_u &< 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c \\
 619340 &> 268333,33 \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c &< V_u < \Phi \cdot V_c \\
 268333,33 &< 619340 > 536666,67 \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \Phi \cdot V_c &< V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) \\
 536666,67 &< 619340 > 751333,34 \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) &< V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) \\
 751333,34 &< 619340 < 1610000 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) &< V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) \\
 1610000 &> 619340 < 2683333,34 \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

Didapat perhitungan di atas kondisi 4 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser :

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan Ø12

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 226,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{306666,67}$$

$$= 203,47 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 180 mm

**- Tulangan Torsi**

$$\begin{aligned} F_c' &= 25 \text{ Mpa} \\ F_y &= 400 \text{ Mpa} \\ \phi &= 0,7 \\ h &= 1200 \text{ mm} \\ b &= 800 \text{ mm} \\ d' &= 50 \text{ mm} \\ d &= 1150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{236,93}{0,7}$$

$$= 338,47 \text{ kN m}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= h \cdot b \\ &= 1200 \cdot 800 \\ &= 960000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\ &= 2 \cdot (1200 + 800) \\ &= 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$T_u = \frac{\phi \times \sqrt{f_c'} }{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$236930000 = \frac{0,7 \times \sqrt{25}}{12} \times \left( \frac{960000^2}{4000} \right)$$

$$236930000 > 67200000$$

(perlu tulangan torsi)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') + (b - 2 \cdot d') \\ &= (1200 - 2 \cdot 50) + (800 - 2 \cdot 50) \\ &= 770000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) \\ &= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5) \\ &= 2825 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 770000 \\ &= 654500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas sengkang per torsi} \\ \frac{A_{vt}}{1000} &= \frac{338470000}{2 \cdot 2654500 \cdot 400 \cdot 1} \\ A_{vt} &= 646,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{A_{vt}}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot 2\theta \\ &= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1 \\ &= 1826,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

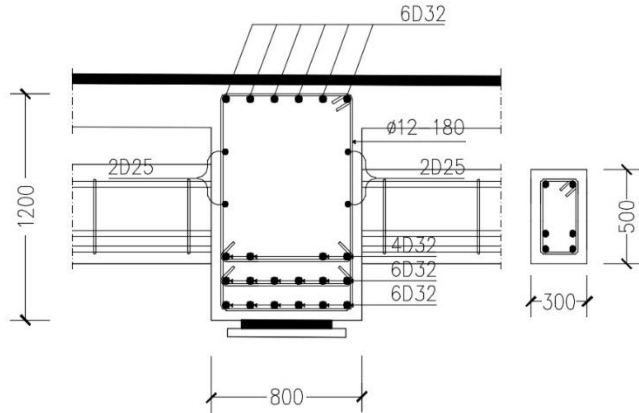
Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$\begin{aligned} A_s &= 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 625 \\ &= 490,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1826,16}{490,625} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 21 Penulangan Balok Tengah pada 1/4 Bentang

♦ *Penulangan balok pada 3/8 bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 5088,49 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{5088,49 \text{ kN m}}{0,8} = 6360,61 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{6360,61 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 6,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 6,01}{400}} \right) \\ &= 0,0181\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0181 < 0,0203\end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0181$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0181 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 16652 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{16652 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 20,72$$

Maka dipakai tulangan lentur 22 D32

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{As tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 22 \\ &= 17684,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Penampang

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &< \text{As pasang} \\ 16652 \text{ mm}^2 &< 17684,48 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{17684,48 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800} \\ &= 416,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 416,11 \cdot 800 \cdot \\ &\quad \left( 1150 - \frac{416,11}{2} \right) \\ &= 6663196477 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ perlu} &< M_n \text{ pasang} \\ 6360610000 \text{ N mm} &< 6663196477 \text{ N mm (OK)} \end{aligned}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat daktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} \text{As}' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 3220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

### **- Tulangan Geser**

$$V_u = 553020 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150$$

$$= 766666,67 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c$$

$$= \frac{553020}{0,7} - 766666,67$$

$$= 23361,90 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$= \frac{800 \cdot 1150}{3}$$

$$= 306666,67 \text{ N}$$

### **Cek Kondisi Geser**

$$1. V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$$

$$553020 > 268333,33 \text{ (NOT OK)}$$

2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $268333,33 < 553020 > 536666,67$  (NOT OK)
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \min})$   
 $536666,67 < 553020 < 751333,34$  (OK)
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $751333,34 > 553020 < 1610000$  (NOT OK)
5.  $\Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $1610000 > 553020 < 2683333,34$  (NOT OK)

Didapat kondisi 3 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter Ø12 mm

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 226,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{306666,67} \\
 &= 203,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 200mm

**- Tulangan Torsi**

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,7$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{236,93}{0,7}$$

$$= 338,47 \text{ kN m}$$

$$A_{cp} = h \cdot b$$

$$= 1200 \cdot 800$$

$$= 960000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (h + b)$$

$$= 2 \cdot (1200 + 800)$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$T_n = \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$2369300000 = \frac{0,7 \times \sqrt{25}}{12} \times \left( \frac{960000^2}{4000} \right)$$

$$2369300000 > 672000000$$

(perlu tulangan torsi)

$$A_{oh} = (h - 2 \cdot d') \times (b - 2 \cdot d')$$

$$= (1200 - 2 \cdot 50) \times (800 - 2 \cdot 50)$$

$$= 770000 \text{ mm}$$

$$P_h = 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right)$$

$$= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5)$$

$$= 2825 \text{ mm}$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot 770000$$

$$= 654500 \text{ mm}^2$$

Luas sengkang per torsi

$$\frac{A_{vt}}{1000} = \frac{338470000}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1}$$

$$A_{vt} = 646,43 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$A_t = \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot 2\theta$$

$$= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1$$

$$= 1826,16 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$A_s = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2$$

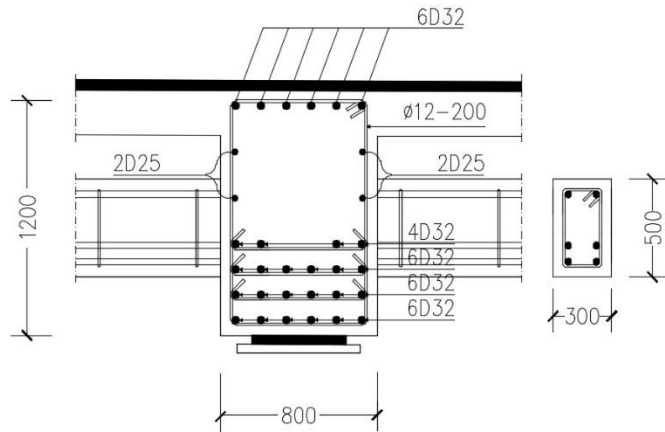
$$= 0.25 \cdot 3.14 \cdot 625$$

$$= 490.625 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1826,16}{490.625} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 22 Penulangan Girder Tengah pada 3/8 Bentang

♦ *Penulangan balok pada 1/2 bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 6074,76 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{6074,76 \text{ kN m}}{0,8} = 7593,45 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{7593,45 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 7,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
&= 0,0271 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
&= 0,75 \cdot 0,0271 \\
&= 0,0203 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
\rho &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 7,18}{400}} \right) \\
&= 0,0229
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 &< 0,0229 > 0,0203
\end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0203$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
&= 0,0203 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\
&= 18676 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}
A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
&= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\
&= 803,84 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{18676 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 23,23$$

Maka dipakai tulangan lentur 24 D32

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= As \text{ tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 24 \\ &= 19292,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Penampang

As perlu < As pasang

$$18676 \text{ mm}^2 < 19292,16 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{19292,16 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800} \\ &= 453,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 453,93 \cdot 800 \cdot \left(1150 - \frac{453,93}{2}\right) \\ &= 7122885718 \text{ N mm} \end{aligned}$$

Mn perlu < Mn pasang

$$7077490000 < 7122885718 \text{ N mm (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat daktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} As' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 3220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \end{aligned}$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

### - Tulangan Geser

$$V_u = 386360 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 766666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c \\ &= \frac{386360}{0,7} - 766666,67 \\ &= 214723,81 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{b w \cdot d}{3} \\ &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\ &= 306666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

### Cek Kondisi Geser

$$1. V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$$

$$386360 > 268333.33 \text{ (NOT OK)}$$



2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $268333,33 < 386360 > 536666,67$  (NOT OK)
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \min})$   
 $536666,67 < 386360 < 751333,34$  (OK)
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w d)$   
 $751333,34 > 386360 < 1610000$  (NOT OK)
5.  $\Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $1610000 > 386360 < 2683333,34$  (NOT OK)

Didapat kondisi 3 memenuhi syarat maka diperlukan tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter Ø12 mm.

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 226,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{214723,81} \\
 &= 290,60
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 250mm

**- Tulangan Torsi**

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,7$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{236,93}{0.7}$$

$$= 338,47 \text{ kN m}$$

$$A_{cp} = h \cdot b$$

$$= 1200 \cdot 800$$

$$= 960000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (h + b)$$

$$= 2 \cdot (1200 + 800)$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$T_n = \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$2369300000 = \frac{0.7 \times \sqrt{25}}{12} \times \left( \frac{960000^2}{4000} \right)$$

$$2369300000 > 672000000$$

(perlu tulangan torsi)

$$A_{oh} = (h - 2 \cdot d') \times (b - 2 \cdot d')$$

$$= (1200 - 2 \cdot 50) \times (800 - 2 \cdot 50)$$

$$= 770000 \text{ mm}$$

$$P_h = 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5) \\
 &= 2825 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 770000 \\
 &= 654500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Luas sengkang per torsi} \\
 \frac{A_{vt}}{1000} &= \frac{338470000}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1} \\
 A_{vt} &= 646,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot 2\theta \\
 &= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1 \\
 &= 1826,16 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

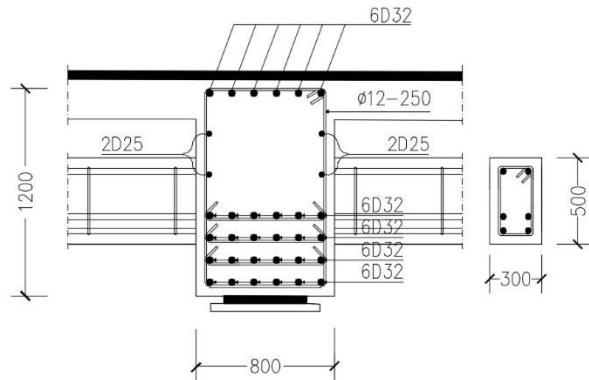
Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$\begin{aligned}
 A_s &= 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 625 \\
 &= 490,625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1826,16}{490,625} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 23 Penulangan Girder Tengah pada 1/2 Bentang

#### 4.2.3.5 Kontrol Lendutan Pada Balok Tengah

Bentang yang ditinjau  $L = 16,8 \text{ m} = 1680 \text{ cm}$

$E = 23500 \text{ MPa}$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 800 \cdot 1200^3$$

$$I = 1,152 \times 10^{11}$$

Lendutan Ijin

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{1680}{800} = 2,1 \text{ cm}$$

Lendutan Akibat Beban Hidup (BGT+BTR)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5 \cdot q_{BTR} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{1 \cdot P_{BTR} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{5 \cdot 15,79 \cdot 16800^4}{384 \cdot 23500 \cdot 1,152 \cdot 10^{11}} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1 \cdot 383300 \cdot 16800^3}{48 \cdot 23500 \cdot 1,152 \cdot 10^{11}} \\
 &= 6,05 + 13,99 \\
 &= 20,04 \text{ mm} \\
 &= 2,01 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{BGT+BTR}} &< \Delta \text{ ijin} \\
 2,01 \text{ cm} &< 2,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.4 Perencanaan Balok Tepi

##### 4.2.4.1 Preliminary Design Balok Tepi

Perencanaan dimensi awal untuk balok tepi disesuaikan berdasarkan **RSNI T-12-2004 pasal 9.2.1**

- a. Menentukan dimensi balok

Tinggi Balok (h) dihitung melalui pendekatan

$$\left(\frac{1}{12}L \geq h \geq \frac{1}{15}L\right)$$

$$\text{a. } \frac{1}{12}L = \frac{1}{12} \times 16800\text{mm} = 1400 \text{ mm}$$

$$\text{b. } \frac{1}{15}L = \frac{1}{15} \times 16800\text{mm} = 1120 \text{ mm}$$

Jadi tinggi girder (h) yang digunakan = 1200 mm  
(OK)

- b. Lebar Girder (bw) dihitung melalui pendekatan

$$\left(\frac{2}{3}h \geq bw \geq \frac{1}{3}h\right)$$

$$\text{a. } \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 1200\text{mm} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{b. } \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \times 1200\text{mm} = 400 \text{ mm}$$

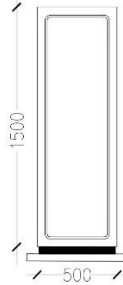
Jadi lebar girder (bw) yang digunakan = 800 mm  
(OK)

#### 4.2.4.2 Analisis Pembebanan Balok Tepi

##### Beban Mati

- Beban mati merata

a. Berat Balok Girder



Gambar 4. 24 Penampang Girder Tepi

$$q \text{ balok} = 1,2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ balok} = 24 \text{ kN}$$

b. Beban Pelat Lantai

$$q \text{ pelat} = 0,23 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ pelat} = 10,06 \text{ kN}$$

c. Beban Aspal

$$q \text{ aspal} = 0,07 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ aspal} = 2,70 \text{ kN}$$

d. Berat sendiri parapet

$$q \text{ parapet} = 0,384 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ parapet} = 9,6 \text{ kN}$$

$$\text{Total beban} = 24 \text{ kN} + 10,06 \text{ kN} + 2,70 \text{ kN} + 9,6 \text{ kN}$$

$$= 46,76 \text{ kN}$$

- Beban mati terpusat

a. Berat sendiri diafragma

$$q \text{ dia} = 0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ dia} = 4,69 \text{ kN}$$

$$\text{Total beban} = 4,69 \text{ kN}$$

### Beban Hidup

#### - Beban Hidup Merata

##### a. Beban Air Hujan

$$q \text{ hujan} = 0,02 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 1 \text{ kN/m}^3$$

$$q \text{ hujan} = 0,04 \text{ kN}$$

##### b. Beban BTR

BTR tergantung pada panjang total  $L$  yang dibebani dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$q = 9 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 9 \times (1 - 1/5L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \geq 30 \text{ m}$$

$$q \text{ BTR} = 9 \text{ kPa} \times 1,75 \text{ m}$$

$$= 15,75 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban} = 0,04 \text{ kN} + 15,75 \text{ kN/m}$$

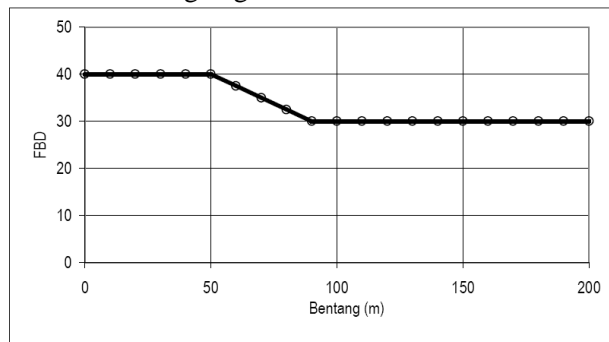
$$= 15,79 \text{ kN}$$

#### - Beban Hidup Terpusat

##### a. P BGT

$$\text{Nilai } P \text{ untuk BGT} = 49 \text{ kN/m}$$

Faktor beban dinamis (DLA) untuk BGT diambil nilai sesuai dengan grafik di bawah ini :



Gambar 4. 25 Faktor Beban Dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur “P BGT”

$$P_{BGT} = 49 \text{ kN} \times 1,75 \text{ m} \times 1,4$$

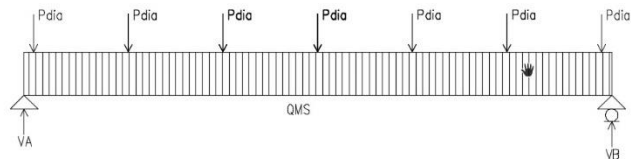
$$P_{BGT} = 120,05 \text{ kN}$$

$$\text{Total beban} = 120,05 \text{ kN}$$

#### 4.2.4.3 Perhitungan Gaya Dalam

- Reaksi perletakan pada balok

**Akibat beban mati**



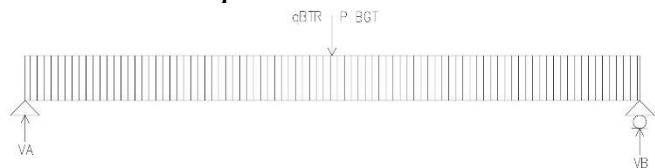
Gambar 4. 26 Permodelan Beban Mati Girder Tepi

$$\begin{aligned} \text{Beban mati merata, } V_A &= 0,5 \cdot DL \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 46,76 \text{ kN/m} \cdot 16,8 \text{ m} \\ &= 392,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati terpusat, } V_A &= 0,5 \cdot n \text{ diafragma} \cdot pDL \\ &= 0,5 \cdot 5 \cdot 4,69 \text{ kN} \\ &= 11,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi beban mati} &= 392,78 \text{ kN} + 11,73 \text{ kN} \\ &= 404,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Akibat beban hidup**



Gambar 4. 27 Permodelan Beban Hidup Girder Tepi

$$\begin{aligned} \text{Beban terbagi rata, } V_A &= 0,5 \cdot qLL \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 15,79 \text{ kN/m} \cdot 16,8 \text{ m} \\ &= 132,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Garis Terpusat, } V_A &= 0,5 \cdot pLL \\ &= 0,5 \cdot 120,05 \text{ kN} \\ &= 60,03 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{Total reaksi beban hidup} &= 132,64 \text{ kN} + 60,03 \text{ kN} \\ &= 192,67 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Momen dan geser pada 1/8 bentang akibat beban mati

$$\begin{aligned}M_{DL} &= (V_A \cdot 1/8 L) - (P_d \cdot 1,7 \text{ m}) - (q_{DL} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\ &= (404,51 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 1,7 \text{ m}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\ &= 738,39 \text{ kN m} \\ V_{DL} &= V_A - P_d - (q_{DL} \cdot 2,1 \text{ m}) \\ &= 404,51 \text{ kN} - 4,69 \text{ kN} - (46,76 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) \\ &= 301,62 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Momen dan geser pada 1/4 bentang akibat beban mati

$$\begin{aligned}M_{DL} &= (V_A \cdot 1/4 L) - (P_d \cdot 3,8 \text{ m}) - (q_{DL} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\ &= (404,51 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 3,8 \text{ m}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\ &= 1268,70 \text{ kN m} \\ V_{DL} &= V_A - P_d - (q_{DL} \cdot 4,2 \text{ m}) \\ &= 404,51 \text{ kN} - 4,69 \text{ kN} - (46,76 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) \\ &= 203,43 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Momen dan geser pada 3/8 bentang akibat beban mati

$$\begin{aligned}M_{DL} &= (V_A \cdot 3/8 L) - (P_d \cdot 5,9 \text{ m}) - (P_d \cdot 1,9 \text{ m}) - (q_{DL} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\ &= (404,51 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 5,9 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 1,9 \text{ m}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\ &= 1583,88 \text{ kN m} \\ V_{DL} &= V_A - (2 \cdot P_d) - (q_{DL} \cdot 6,3 \text{ m}) \\ &= 404,51 \text{ kN} - (2 \cdot 4,69 \text{ kN}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m}) \\ &= 100,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Momen dan geser pada  $\frac{1}{2}$  bentang akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 M_{DL} &= (V_A \cdot \frac{1}{2} L) - (P_d \cdot 8 \text{ m}) - (P_d \cdot 4 \text{ m}) - (q_{DL} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= (404,51 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m}) - (4,69 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}) - \\
 &\quad (4,69 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 1691,91 \text{ kN m} \\
 V_{DL} &= V_A - (2 \cdot P_d) - (q_{DL} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 404,51 \text{ kN} - (2 \cdot 4,69 \text{ kN}) - (46,76 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 2,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan geser pada  $\frac{1}{8}$  bentang akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= (V_A \cdot \frac{1}{8} L) - (q_{LL} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\
 &= (192,67 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m}) \\
 &= 369,79 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 192,67 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 159,51 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan geser pada  $\frac{1}{4}$  bentang akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= (V_A \cdot \frac{1}{4} L) - (q_{LL} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= (192,67 \text{ kN} \cdot 4,2 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 4,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m}) \\
 &= 669,95 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 192,67 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 126,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan geser pada  $\frac{3}{8}$  bentang akibat beban hidup

$$M_{LL} = (V_A \cdot \frac{3}{8} L) - (q_{LL} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m})$$

$$\begin{aligned}
 &= (192,67 \text{ kN} \cdot 6,3 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 6,3 \text{ m} \cdot 3,15 \text{ m}) \\
 &= 900,47 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 6,3 \text{ m}) \\
 &= 192,67 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 6,3 \text{ m}) \\
 &= 93,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan geser pada  $\frac{1}{2}$  bentang akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= (V_A \cdot \frac{1}{2} L) - (q_{LL} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= (192,67 \text{ kN} \cdot 8,4 \text{ m}) - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 8,4 \text{ m} \cdot 4,2 \text{ m}) \\
 &= 1061,36 \text{ kN m} \\
 V_{LL} &= V_A - (q_{LL} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 192,67 \text{ kN} - (15,79 \text{ kN/m} \cdot 8,4 \text{ m}) \\
 &= 60,03 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan

Momen dan gaya geser pada  $\frac{1}{8}$  bentang

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 738,39 \text{ kN m}) + (2 \cdot 369,79 \text{ kN m}) \\
 &= 1700,14 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 301,62 \text{ kN} + 2 \cdot 159,51 \text{ kN} \\
 &= 711,13 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan gaya geser pada  $\frac{1}{4}$  bentang

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\
 &= (1,3 \cdot 1268,70 \text{ kN m}) + (2 \cdot 669,95 \text{ kN m}) \\
 &= 2989,21 \text{ kN m} \\
 V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\
 &= 1,3 \cdot 203,43 \text{ kN} + 2 \cdot 126,35 \text{ kN} \\
 &= 517,16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen dan gaya geser pada 3/8 bentang

$$\begin{aligned} M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\ &= (1,3 \cdot 1583,88 \text{ kN m}) + (2 \cdot 900,47 \text{ kN m}) \\ &= 3859,98 \text{ kN m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\ &= 1,3 \cdot 100,54 \text{ kN} + 2 \cdot 93,19 \text{ kN} \\ &= 317,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen dan gaya geser pada 1/2 bentang

$$\begin{aligned} M_u &= 1,3 \cdot M_{DL} + 2 \cdot M_{LL} \\ &= (1,3 \cdot 1691,91 \text{ kN m}) + (2 \cdot 1061,36 \text{ kN m}) \\ &= 4322,20 \text{ kN m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,3 \cdot V_{DL} + 2 \cdot V_{LL} \\ &= 1,3 \cdot 2,35 \text{ kN} + 2 \cdot 60,03 \text{ kN} \\ &= 123,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 4.2.4.4 Perhitungan Penulangan Pada Balok Tepi

- ♦ *Penulangan balok pada 1/8 bentang*

##### - Tulangan Lentur

$$M_u = 1700,14 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{1700,14 \text{ kN m}}{0,8} = 2125,18 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{2125,18 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
&= 0,0271 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
&= 0,75 \cdot 0,0271 \\
&= 0,0203 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 2,01}{400}} \right) \\
&= 0,0053 \\
\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 &< 0,0053 < 0,0203 \\
\text{Maka diambil } \rho &= 0,0053
\end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
&= 0,0053 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\
&= 4876 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}
A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
&= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\
&= 803,84 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{4876 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 6,07$$

Maka dipakai tulangan lentur 8 D32

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= A_s \text{ tulangan} \cdot n \\
 &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 8 \\
 &= 6430,72 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Penampang

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pasang}$

$$4876 \text{ mm}^2 < 6430,72 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{6430,72 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800} \\
 &= 151,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 25 \cdot 151,31 \cdot 800 \cdot \left( 1150 - \frac{151,31}{2} \right) \\
 &= 2763505413 \text{ N mm}
 \end{aligned}$$

$M_n \text{ perlu} < M_n \text{ pasang}$

$$2125180000 \text{ N mm} < 2763505413 \text{ N mm} \text{ (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat duktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\
 &= 4600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\
 &= 803,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{4600 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 5,72$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

**- Tulangan Geser**

$$V_u = 711130 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 612500 \text{ N} \\ &= 766666,67 \text{ N} \\ V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\ &= 306666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

**Cek Kondisi Geser**

1.  $V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$   
 $711130 < 268333,33 \text{ (OK)}$
2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $268333,33 < 711130 > 536666,67 \text{ (NOT OK)}$
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}})$   
 $536666,67 < 711130 > 751333,34 \text{ (NOT OK)}$
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w d)$   
 $751333,34 < 711130 < 11610000 \text{ (OK)}$

$$\begin{aligned}
 5. \quad & \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \\
 & \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) \\
 & 1610000 > 711130 < 2683333,34 \\
 & (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

Didapat perhitungan di atas kondisi 1 dan 4 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan Ø12

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 226,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c \\
 &= \frac{711130}{0,7} - 766666,67 \\
 &= 249233,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{306666,67} \\
 &= 203,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 120mm

#### **- Tulangan Torsi**

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \Phi &= 0,7 \\
 h &= 1200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}b &= 800 \text{ mm} \\d' &= 50 \text{ mm} \\d &= 1150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi} = \frac{236,93}{0,7} = 338,47 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}A_{cp} &= h \cdot b \\&= 1200 \cdot 800 \\&= 960000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\&= 2 \cdot (1200 + 800) \\&= 4000 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$\begin{aligned}T_u &> \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\750000000 &> \frac{0,75 \cdot \sqrt{25}}{12} \cdot \left( \frac{750000^2}{4000} \right) \\750000000 &> 43945312,5 \text{ (perlu tulangan torsi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') \times (b - 2 \cdot d') \\&= (1200 - 2 \cdot 50) \times (800 - 2 \cdot 50) \\&= 770000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_h &= 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) \\&= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5) \\&= 2825 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\&= 0,85 \cdot 770000 \\&= 654500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas sengkang per torsi :

$$\frac{Avt}{1000} = \frac{Tn}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot 1}$$

$$\frac{Avt}{1000} = \frac{338470000}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1}$$

$$Avt = 646,43 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$At = \frac{Avt}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot^2 \theta$$

$$= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1$$

$$= 1826,16 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$As = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

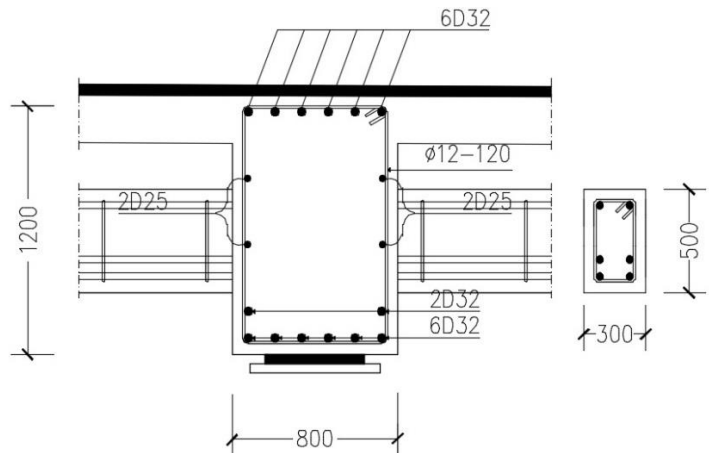
$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2$$

$$= 490,63 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1826,16 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 28 Penulangan Balok Tepi pada 1/8 Bentang

♦ *Penulangan balok pada 1/4 bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 2989,21 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{2989,21 \text{ kN m}}{0,8} = 3736,51 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{3736,51 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 3,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 3,53}{400}} \right) \\ &= 0,0097\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0097 < 0,0203\end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0097$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0097 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 8924 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{8924 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 11,10$$

Maka dipakai tulangan lentur 12 D32

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= A_s \text{ tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 12\end{aligned}$$

$$= 9646,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol Penampang

As perlu < As pasang

$$8924 \text{ mm}^2 < 9646,08 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{9646,08 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800} \\ &= 226,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 226,97 \cdot 800 \cdot \left(1150 - \frac{226,97}{2}\right) \\ &= 3999382762 \text{ N mm} \end{aligned}$$

Mn perlu < Mn pasang

$$3736510000 \text{ N mm} < 3999382762 \text{ N mm (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat duktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} As' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 3220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$As = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$As = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2$$

$$As = 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

**- Tulangan Geser**

$$V_u = 517160 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 612500 \text{ N} \\ &= 766666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\ &= 306666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

**Cek Kondisi Geser**

$$1. V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$$

$$517160 > 268333,33 \text{ (NOT OK)}$$

$$2. 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$$

$$268333,33 < 517160 > 536666,67 \text{ (NOT OK)}$$

$$3. \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}})$$

$$536666,67 < 517160 > 751333,34 \\ \text{(NOT OK)}$$

$$4. \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$$

$$751333,34 < 517160 < 1610000 \text{ (OK)}$$

$$5. \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$$

$$1610000 > 517160 < 2683333,34$$

(NOT OK)

Didapat perhitungan di atas kondisi 4 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser.

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan Ø14.

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2$$

$$= 226,08 \text{ mm}^2$$

Kuat geser yang diperlukan

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c$$

$$= \frac{517160}{0,7} - 766666,67$$

$$= 27866,67 \text{ mm}$$

Jarak antar sengkang

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{306666,67}$$

$$S = 203,47 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 150mm

#### **- Tulangan Torsi**

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 0,7 \\
 h &= 1500 \text{ mm} \\
 b &= 500 \text{ mm} \\
 d' &= 30 \text{ mm} \\
 d &= 1470 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi} = \frac{750}{0,7} = 1071,43 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= h \cdot b \\
 &= 1500 \cdot 500 \\
 &= 750000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\
 &= 2 \cdot (1500 + 500) \\
 &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &> \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_{c'}}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 750000000 &> \frac{0,75 \cdot \sqrt{25}}{12} \cdot \left( \frac{750000^2}{4000} \right) \\
 750000000 &> 43945312,5 \text{ (perlu tulangan torsi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') \cdot (b - 2 \cdot d') \\
 &= (1500 - 2 \cdot 30) \cdot (500 - 2 \cdot 30) \\
 &= 633600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \cdot (h - 2 \cdot d') + (b - 2 \cdot d') \\
 &= 2 \cdot (1500 - 2 \cdot 30) + (500 - 2 \cdot 30) \\
 &= 3280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 633600 \\
 &= 538560 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Luas sengkang per torsi :

$$\begin{aligned}\frac{A_{vt}}{A_{vt}} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot 1} \\ \frac{1000}{A_{vt}} &= \frac{1071430000}{2 \cdot 538560 \cdot 400 \cdot 1} \\ A_{vt} &= 2,4868 \cdot 1000 \\ A_{vt} &= 2486,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$\begin{aligned}A_t &= \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot^2 \theta \\ &= \frac{2486,8}{1000} \cdot 3280 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1 \\ &= 8156,704 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

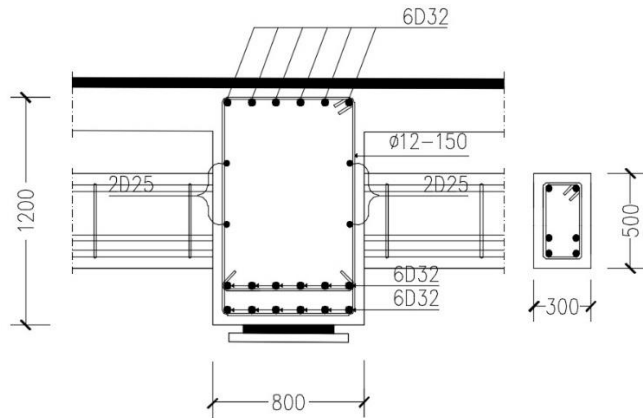
Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 \\ &= 490,63 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{8156,704 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} = 16,62$$

Maka dipasang tulangan torsi 18 D25



Gambar 4. 29 Penulangan Balok Tepi pada 1/4 Bentang

♦ *Penulangan balok pada 3/8 bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 3859,98 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{3859,98 \text{ kN m}}{0,8} = 4824,98 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{4824,98 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 4,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 4,56}{400}} \right) \\ &= 0,0130\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0130 < 0,0203\end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho = 0,0130$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0130 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 11960 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{11960 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 14,88$$

Maka dipakai tulangan lentur 16 D32

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= A_s \text{ tulangan} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 16 \\ &= 12861,44 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol Penampang

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pasang}$

$$11960 \text{ mm}^2 < 12861,44 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{12861,44 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800} \\ &= 302,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 0,85 \cdot 25 \cdot 302,62 \cdot 800 \cdot \left( 1150 - \frac{302,62}{2} \right)$$

$$M_n = 5137800653 \text{ N mm}$$

$M_n \text{ perlu} < M_n \text{ pasang}$

$$4824980000 \text{ N mm} < 5137800653 \text{ N mm} \text{ (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat duktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm} \\ &= 3220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

### **- Tulangan Geser**

$$V_u = 317080 \text{ kN}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150 \\ &= 766666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{800 \cdot 1150}{3} \\ &= 306666,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser

$$1. V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$$

$$317080 > 268333,33 \text{ (NOT OK)}$$

$$2. 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$$

$$268333,33 > 317080 > 536666,67 \text{ (NOT OK)}$$

$$3. \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}})$$

$$536666,67 < 317080 < 751333,34 \text{ (OK)}$$

$$4. \Phi \cdot (V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$$

$$751333,34 > 317080 < 1610000 \text{ (NOT OK)}$$

$$5. \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$$

$$1610000 > 317080 < 2683333,34 \text{ (NOT OK)}$$

Didapat perhitungan di atas kondisi 3 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan Ø12

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 226,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat geser yang diperlukan

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi_v} - V_c \\ &= \frac{317080}{0,7} - 766666,67 \\ &= 313695,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{313695,24} \\ &= 198,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 180mm

### **- Tulangan Torsi**

$$\begin{aligned} f_c' &= 25 \text{ Mpa} \\ f_y &= 400 \text{ Mpa} \\ \phi &= 0,7 \\ h &= 1200 \text{ mm} \\ b &= 800 \text{ mm} \\ d' &= 50 \text{ mm} \\ d &= 1150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi} = \frac{236,93}{0,7} = 338,47 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= h \cdot b \\ &= 1200 \cdot 800 \\ &= 960000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\ &= 2 \cdot (1200 + 800) \\ &= 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{\emptyset \times \sqrt{f_c'}}{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ 2369300000 &= \frac{0,7 \times \sqrt{25}}{12} \times \left( \frac{960000^2}{4000} \right) \\ 2369300000 &> 67200000 \\ &(\text{perlu tulangan torsi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') \times (b - 2 \cdot d') \\ &= (1200 - 2 \cdot 50) \times (800 - 2 \cdot 50) \\ &= 770000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) \\ &= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5) \\ &= 2825 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 770000 \\ &= 654500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas sengkang per torsi :

$$\frac{A_{vt}}{1000} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot 1}$$

$$\frac{A_{vt}}{1000} = \frac{338470000}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1}$$

$$A_{vt} = 646,43 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$A_t = \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot 2\theta$$

$$= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1$$

$$= 1826,16 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

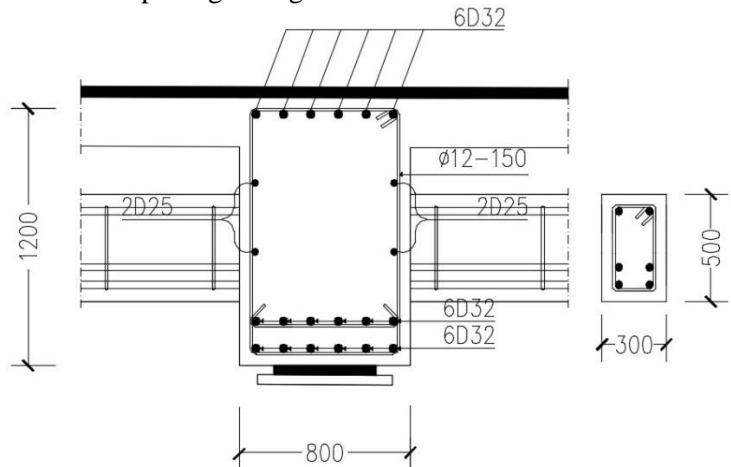
$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2$$

$$= 490,63 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1826,16 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 30 Penulangan Balok Tepi pada 3/8 Bentang



♦ *Penulangan balok pada ½ bentang*

**- Tulangan Lentur**

$$M_u = 4322,20 \text{ kN m}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{4322,20 \text{ kN m}}{0,8} = 5402,75 \text{ kN m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{5402,75 \times 10^6}{800 \cdot (1150)^2} = 5,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 5,11}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0149$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0149 < 0,0203$$

Maka diambil  $\rho = 0,0149$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0149 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm}$$

$$= 13708 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$As = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{13708 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 17,05$$

Maka dipakai tulangan lentur 18 D32

$$As \text{ pasang} = As \text{ tulangan} \cdot n$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 18$$

$$= 14469,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol Penampang

$$As \text{ perlu} < As \text{ pasang}$$

$$13708 \text{ mm}^2 < 14469,12 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{As \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{14469,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 800}$$

$$= 340,45 \text{ mm}$$

$$Mn = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 340,45 \cdot 800 \cdot \left(1150 - \frac{340,45}{2}\right)$$

$$= 5670594779 \text{ N mm}$$

Mn perlu < Mn pasang

$$5402750000 < 5670594779 \text{ N mm (OK)}$$

Untuk menjamin agar balok bersifat duktail, maka harus dipasang tulangan tekan sebesar

$$As' = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$As' = 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1150 \text{ mm}$$

$$As' = 3220 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$As = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$As = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2$$

$$As = 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{3220 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 4,01$$

Maka dipakai tulangan tekan 6 D32

#### **- Tulangan Geser**

$$Vu = 123120 \text{ N}$$

$$fc' = 25 \text{ MPa}$$

$$fy = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1150 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,7$$

$$Vc = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{fc'} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 800 \cdot 1150$$

$$= 766666,67 \text{ N}$$

$$Vs \text{ min} = \frac{bw \cdot d}{3}$$

$$= \frac{800 \cdot 1150}{3}$$

$$= 306666,67 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser

1.  $V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$   
 $123120 < 268333,33(\text{OK})$
2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $268333,33 > 123120 < 536666,67(\text{NOT OK})$
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \min})$   
 $536666,67 > 123120 < 751333,34 (\text{NOT OK})$
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $751333,34 > 123120 < 1610000 (\text{NOT OK})$
5.  $\Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $1610000 > 123120 < 2683333,34 (\text{NOT OK})$

Didapat kondisi 1 memenuhi syarat maka tidak perlu tulangan geser, tetapi untuk kestabilan struktur pakai tulangan geser praktis

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan Ø12

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 226,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat geser yang diperlukan

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{123120}{0,7} - 766666,67 \\
 &= -590780,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 1150}{306666,67} \\
 &= 203,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 200mm

#### **- Tulangan Torsi**

$$\begin{aligned}
 f_{c'} &= 25 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \Phi &= 0,7 \\
 h &= 1200 \text{ mm} \\
 b &= 800 \text{ mm} \\
 d' &= 50 \text{ mm} \\
 d &= 1150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi} = \frac{236,93}{0,7} = 338,47 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= h \cdot b \\
 &= 1200 \cdot 800 \\
 &= 960000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (h + b) \\
 &= 2 \cdot (1200 + 800) \\
 &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat tulangan torsi

$$T_n > \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_{c'}}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$2369300000 > \frac{0,7 \cdot \sqrt{25}}{12} \cdot \left( \frac{960000^2}{4000} \right)$$

$$2369300000 > 67200000 \text{ (perlu tulangan torsi)}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (h - 2 \cdot d') \cdot (b - 2 \cdot d') \\ &= (1200 - 2 \cdot 50) \cdot (800 - 2 \cdot 50) \\ &= 770000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot \left( h - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) + \left( b - 2 \cdot \left( d' + \frac{1}{2} D \right) \right) \\ &= 2 \cdot (1200 - 2 \cdot 62,5) + (800 - 2 \cdot 62,5) \\ &= 2825 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 770000 \\ &= 654500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas sengkang per torsi :

$$\begin{aligned} \frac{A_{vt}}{T_n} &= \frac{1}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot 1} \\ \frac{1000}{A_{vt}} &= \frac{1}{338470000} \\ \frac{1000}{A_{vt}} &= \frac{1}{2 \cdot 654500 \cdot 400 \cdot 1} \\ A_{vt} &= 646,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan torsi yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{A_{vt}}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot^2 \theta \\ &= \frac{646,43}{1000} \cdot 2825 \cdot \frac{400}{400} \cdot 1 \\ &= 1826,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

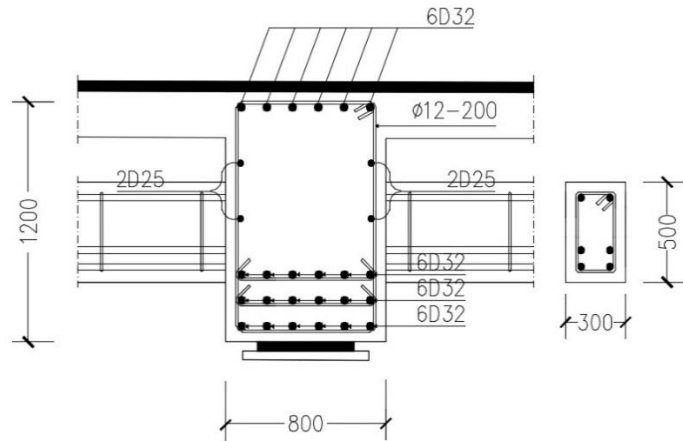
Direncanakan tulangan torsi dengan diameter D25

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 \\ &= 490,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1826,16 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} = 3,72$$

Maka dipasang tulangan torsi 4 D25



Gambar 4. 31 Penulangan Balok Tepi pada 1/2 bentang

#### 4.2.4.5 Kontrol Lendutan Pada Balok Tepi

Bentang yang ditinjau  $L = 16,8 \text{ m} = 1680 \text{ cm}$

$E = 23500 \text{ MPa}$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 1500^3$$

$$I = 1,40625 \times 10^{11}$$

Lendutan Ijin

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{1680}{800} = 2,1 \text{ cm}$$

Lendutan Akibat Beban Hidup (BGT+BTR)

$$\delta = \frac{5 \cdot q_{BTR} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{1 \cdot P_{BTR} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5 \cdot 18,90 \cdot 16800^4}{384 \cdot 23500 \cdot 1,40625 \cdot 10^{11} + 1 \cdot 143720 \cdot 16800^3} + \\
 &\quad \frac{48 \cdot 23500 \cdot 1,40625 \cdot 10^{11}}{5,93 + 4,30} \\
 &= 5,93 + 4,30 \\
 &= 10,23 \text{ mm} \\
 &= 1,02 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

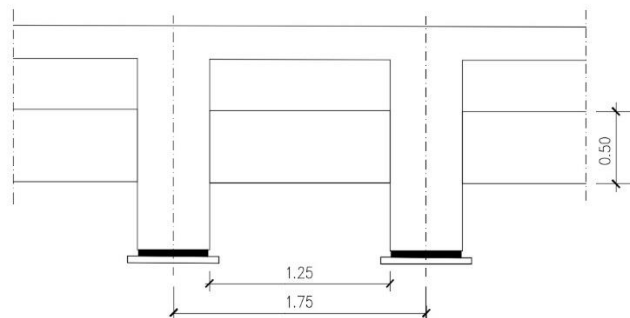
Kontrol

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{BGT+BTR}} &< \Delta \text{ ijin} \\
 1,02 \text{ cm} &< 2,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

## 4.2.5 Perencanaan Diafragma

### 4.2.5.1 Preliminary Design Diafragma

Diafragma pada jembatan berfungsi untuk membantu balok menahan torsi dan lendutan yang terjadi pada girder jembatan. Diafragma tidak didesain untuk ikut menahan pelat lantai.



*Gambar 4.17 Preliminary Design Diafragma*

Data Perencanaan :

Panjang diafragma (L) : 1750 mm

Tinggi diafragma (h) : 500 mm

Lebar diafragma (b) : 300 mm

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f'c'}$$



$$\begin{aligned}
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \\
 &= 23500 \text{ MPa} = 23500000 \text{ kN/m}^2 \\
 I &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 0,3 \cdot (0,5)^3 \\
 &= 0,00625 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

#### 4.2.5.2 Analisis Pembebanan Diafragma

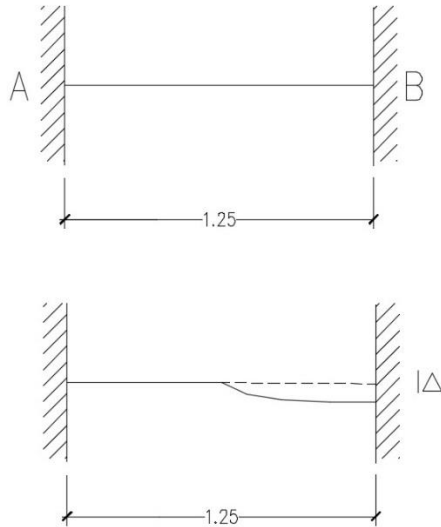
Gaya atau beban yang bekerja pada diafragma adalah beban mati berat sendiri dan beban akibat lendutan pada balok. Pada perhitungan beban akibat lendutan balok diambil kondisi paling kritis, yaitu saat salah satu dari balok terbebani kendaraan sehingga salah satu balok yang ditopangi diafragma melendut.

Sesuai dengan perhitungan lendutan pada girder jembatan berupa  $\Delta$  (deformasi pada diafragma akibat lendutan balok), dipilih lendutan ijin maksimum.

♦ **Beban Berat Sendiri Diafragma**

$$\begin{aligned}
 q_{DL} &= h \cdot b \cdot L \cdot W_c \\
 &= 0,5 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 1,25 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 4,69 \text{ kN/m} \\
 Q_{uDL} &= q_{DL} \cdot 1,3 \\
 &= 4,69 \text{ kN/m} \cdot 1,3 \\
 &= 6,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- ♦ Beban Diafragma akibat lendutan balok girder



Permodelan Lendutan pada Diafragma akibat Girder

Perletakan diafragma dianggap jepit – jepit. Lendutan dari jembatan yang hasilnya sebagai  $\Delta$  (deformasi pada diafragma akibat lendutan dari balok) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

Deformasi diafragma,

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{16,8 \text{ m}}{800} = 0,021 \text{ m}$$

Akibat adanya deformasi sebesar  $\Delta$  di ujung-ujung batang maka terjadi momen rotasi ( $\theta$ ).

$$\theta = \frac{\Delta}{L} = \frac{0,021 \text{ m}}{16,8 \text{ m}} = 0,00125$$

#### 4.2.5.3 Perhitungan Momen

- ♦ Momen akibat lendutan

Momen dihitung dari lendutan di atas,

$$M = \frac{4 EI}{L} \cdot \theta$$

maka,

$$M = \frac{4 EI}{L} \times \frac{\Delta}{L}$$

Karena permodelan perletakan adalah jepit-jepit, maka ada faktor keamanan =  $\frac{1}{2}$ . Jadi,

$$M_{BA} = \frac{4 EI}{L} \times \frac{\Delta}{L}$$

$$M_{AB} = \frac{1}{2} M_{BA}$$

$$M_{AB} = \frac{2 EI}{L} \times \frac{\Delta}{L}$$

Maka dari rumus di atas dapat dicari rumus momen total.

$$\text{Momen Total Lendutan} = M_{BA} + M_{AB}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lendutan}} &= \frac{4 EI \Delta}{L^2} + \frac{2 EI \Delta}{L^2} \\ &= \frac{6 EI \Delta}{L^2} \\ &= \frac{6 \cdot 23500000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,00625 \text{ m}^4 \cdot 0,021 \text{ m}}{(16,8 \text{ m})^2} \\ &= 65,5692 \text{ kN m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lendutan ultimit}} &= M_{\text{lendutan}} \cdot 1,8 \\ &= 65,5692 \text{ kN m} \cdot 1,8 \\ &= 118,0246 \text{ kN m} \end{aligned}$$

- ♦ Momen akibat berat sendiri diafragma

$$q_{uDL} = 6,1 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} M_{quDL} &= \frac{1}{12} \cdot q_{uDL} \cdot L_{\text{diafragma}}^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 6,1 \text{ kN/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2 \\ &= 0,794 \text{ kN m} \end{aligned}$$

- ♦ Momen Total

$$M_{\text{total}} = M_{\text{u lendutan}} + M_{quDL}$$

$$\begin{aligned}
 &= 118,025 \text{ kN m} + 0,794 \text{ kN m} \\
 &= 118,819 \text{ kN m} \\
 &= 118819000 \text{ N mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.5.4 Perhitungan Penulangan Pada Diafragma

##### - Tulangan Lentur

$$M_u = 118819000 \text{ N mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = 470 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{118819000 \text{ N mm}}{0,8}$$

$$= 148523750 \text{ N mm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{148523750 \text{ N mm}}{300 \text{ mm} \cdot (470 \text{ mm})^2}
 \end{aligned}$$

$$= 2,24$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0271$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0271 \\
 &= 0,0203
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 2,24}{400}} \right) \\ &= 0,0059\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0059 < 0,0203 \\ \text{Maka diambil } \rho &= 0,0059\end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0059 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 470 \text{ mm} \\ &= 831,90 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur D32

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{831,90 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 1,03$$

Maka dipakai tulangan lentur 2 D32

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pasang}} &= A_{s \text{ tulangan}} \cdot n \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \cdot 2 \\ &= 1607,68 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### **- Tulangan Tekan**

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}A_s' &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 470 \text{ mm} \\ &= 493,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan tekan D32

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Menentukan jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{493,5 \text{ mm}^2}{803,84 \text{ mm}^2} = 3,20$$

Maka dipakai tulangan tekan 4 D32

### - Tulangan Geser

$$P_u = q_u \text{DL} \cdot L_{\text{diafragma}}$$

$$= 6,1 \text{ kN/m} \cdot 1,25 \text{ m}$$

$$= 7,63 \text{ kN}$$

$$V_u = 7,63 \text{ kN}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = 470 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 470 \text{ mm}$$

$$= 117500 \text{ N}$$

$$= 117,5 \text{ kN}$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$= \frac{300 \cdot 470}{3}$$

$$= 47000 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser

1.  $V_u < 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$   
 $7630000 > 44062,5$  (NOT OK)
2.  $0,5 \cdot \Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot V_c$   
 $44062,5 < 7630000 > 88125$  (NOT OK)
3.  $\Phi \cdot V_c < V_u < \Phi \cdot (V_c + V_{s \min})$   
 $88125 < 7630000 < 123375$  (OK)
4.  $\Phi \cdot (V_c + V_{s \min}) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $123375 < 7630000 > 264375$  (NOT OK)
5.  $\Phi \cdot (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d) < V_u < \Phi \cdot (V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$   
 $264375 < 7630000 > 811875$  (NOT OK)

Didapat perhitungan di atas kondisi 3 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser minimum.  
 Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter Ø12

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 226,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

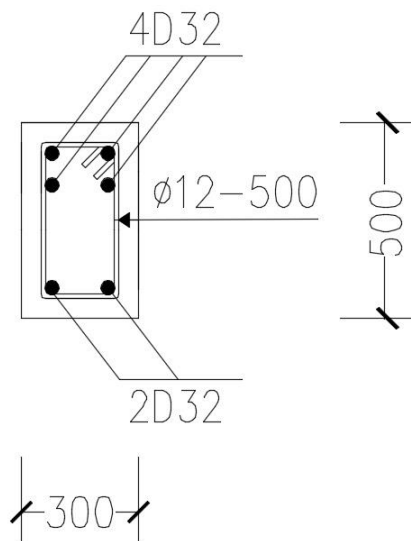
Kuat geser yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\Phi_v} - V_c \\
 &= \frac{7630000}{0,75} - 117500 \\
 &= 10055833,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226,08 \cdot 240 \cdot 470}{47000} \\
 &= 542,59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan Ø12 – 500 mm



Gambar 4. 32 Penulangan Diafragma



## **BAB V**

### **PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH**

#### **5.1 Perencanaan Abutment**

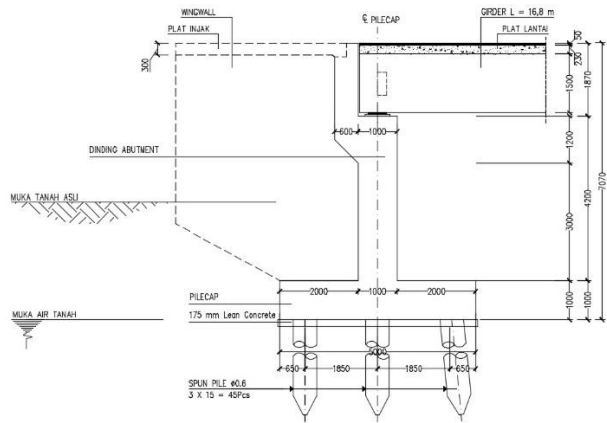
Abutment adalah bangunan bawah yang terdapat di jembatan yang berfungsi menyalurkan beban mati maupun beban hidup dari bangunan atas ke pondasi jembatan dan menahan tekanan tanah serta beban – beban aksi lingkungan lainnya.

##### **5.1.1 Desain Dimensi Abutment**

Abutment terdiri dari beberapa elemen, yaitu pondasi, pile cap ( poer ), dinding abutment, longitudinal stopper, plat inijak dan wing wall. Analisis pembebanan meliputi beban hidup maupun mati, beban sendiri abutment, beban rem, beban angin, beban tekanan tanah aktif, tekanan tanah dinamis akibat beban gempa serta beban gempa.

Data – data perencanaan Abutment :

Elevasi muka tanah asli	: -4,92 m
Elevasi lantai kerja abutment	: -5,07 m
Elevasi lantai kendaraan	: 0,00 m
Elevasi abutment rencana	: 5,07 m
Lebar abutment	: 27,3 m
Panjang bentang jembatan	: 16,8 m

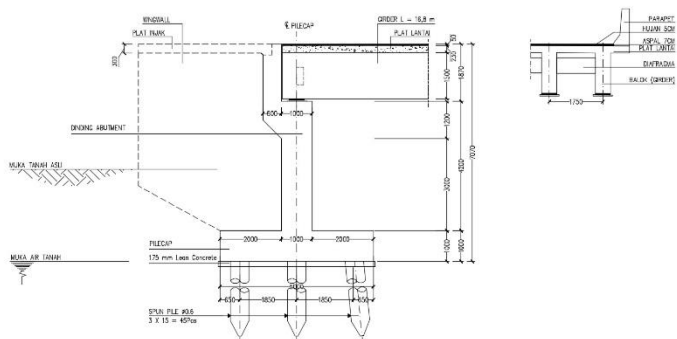


Gambar 5. 1 Perencanaan Abutment

## 5.1.2 Perencanaan Pondasi Abutment

### 5.1.2.1 Analisis Pembebanan Pada Pondasi Abutment

#### 1. Beban Mati Bangunan Atas



Gambar 5. 2 Pembebanan Abutment Akibat Beban Mati Bangunan Atas

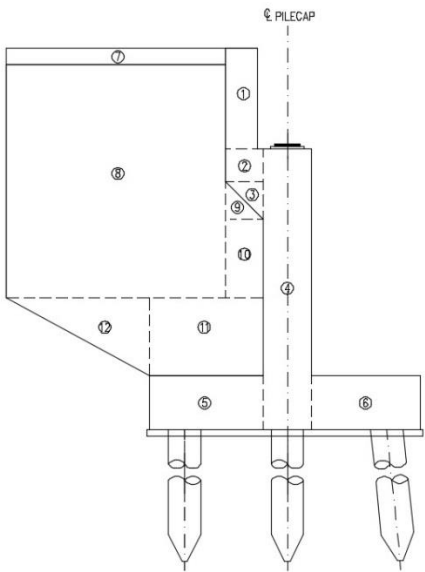
### Gaya Reaksi V abutment akibat beban mati

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Gaya Bangunan Atas

NO	Uraian	V Abt (Ton)
1	Pelat lantai kendaraan	279.4155
2	Lapisan aspal + overlay	99.0748
3	Air hujan	12.1485
4	Parapet	683.52
5	Balok (Girder)	640.8
6	Diafragma	23.15625
Total		1738.115
Total 1/2 bangunan atas		869.0575

### 2. Beban Sendiri Abutment

Dalam perhitungan beban sendiri abutment, abutment diagi menjadi beberapa bagian. Pembagian ini dilakukan untuk memudahkan dalam menganalisis gaya-gaya yang terjadi. Analisis berat abutment didapatkan dari volume per bagian dikalikan dengan BJ lalu menghitung statis momen titik tangkap gaya terhadap center poer.



Gambar 5. 3 Pembagian Segmen Abutment

Tabel 5. 2 Perhitungan Beban Sendiri Abutment

	bidang	b (m)	h (m)	L (m)	BVb (t/m <sup>3</sup> )	berat (ton)	x (m)	z (m)
ABUTMENT	1	2.27	0.3	27.3	2.5	46.48	0.95	3.37
	2	4.305	0.3	27.3	2.5	88.14	0.65	5.41
	3	1	2.51	27.3	2.5	171.03	0	2.25
	4	5	1	27.3	2.5	341.25	0	0.5
	5	0.3	0.35	27.3	2.5	7.17	0.95	4.95
	6	4.05	0.3	27.3	2.5	82.92	3.13	4.93
	7	0.05	0.05	27.3	2.5	0.34	3.80	4.75
WING WALL	8	4	0.05	0.3	2.5	0.30	3.1	4.75
	9	2.66	0.8	0.3	2.5	1.60	3.39	1.54
	10	1.39	1.61	0.3	2.5	3.35	1.80	1.80
	11	0.5025	0.6	0.3	2.5	0.83	0.7	2.07
	12	0.6	1.01	0.3	2.5	0.90	0.8	1.50
TOTAL						<b>744.32</b>		

Tabel 5. 3 Perhitungan Statis Momen Abutment

Segmen	W . X	W . Z
	Ton.m	Ton.m
1	44.154	156.399
2	57.294	476.643
3	0.000	385.341
4	0.000	170.625
5	6.808	35.473
6	259.137	408.399
7	1.298	1.621
8	0.930	1.425
9	5.422	2.458
10	6.007	6.032
11	0.579	1.712
12	0.724	1.359
Total	382.352	1647.487

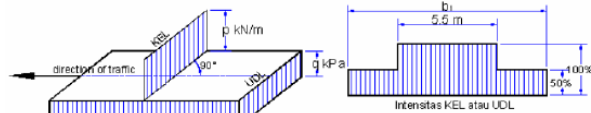
Letak titik tangkap terhadap pusat poer (pile cap)

$$x = \frac{382.35}{744.32} = 0.51 \text{ m}$$

$$z = \frac{1647.49}{744.32} = 2.21 \text{ m}$$

### 3. Beban Hidup Lalu Lintas

Beban lalu lintas (lajur “D”) untuk rencana bangunan bawah terdiri dari BTR dan BGT. Asumsi pembebanan BTR dan BGT adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 4 Asumsi Beban Hidup Lalu Lintas

Data teknis :

Panjang bentang jembatan (L) = 16.8 m

Lebar perkerasan (b) = 26.3 m

Beban BGT (P BGT) = 4.9 t/m

Faktor beban dinamis (1 + DLA) = 1.4

Beban BTR (q BTR) = 0.9 t/m

Total Beban BTR

$$\begin{aligned}
 V \text{ BTR} &= ((5.5 \times q \text{ BTR}) + ((b - 5.5) \times 0.5 \times q \text{ BTR}) \times L \\
 &= ((5.5 \times 0.9) + ((26.3 - 5.5) \times 0.5 \times 0.9) \times 16.8 \\
 &= 81.099 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Total Beban BGT

$$\begin{aligned}
 V \text{ BGT} &= (5.5 \times (P \text{ BGT} \times (1 + \text{DLA}) + (b - 5.5 \times \\
 &\quad (P \text{ BGT} \times (1 + \text{DLA})))) \\
 &= (5.5 \times (4.9 \times 1.4) + (26.3 - 5.5 \times (4.9 \times \\
 &\quad (1.4)))) \\
 &= 26.3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

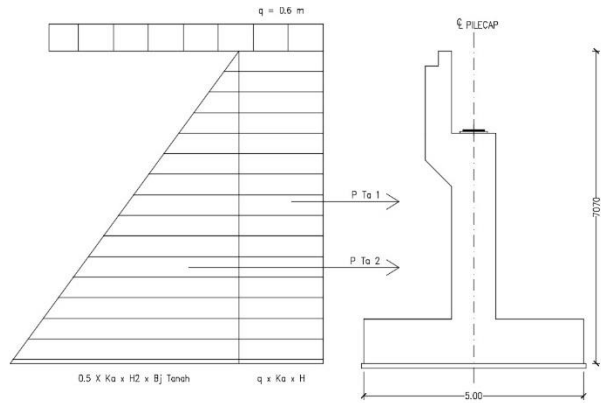
Total beban hidup lalu lintas :

$$\begin{aligned}
 V \text{ total} &= V \text{ BTR} + V \text{ BGT} \\
 &= 81.099 + 26.3 \\
 &= 107.399 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 4. Beban Tekanan Tanah Aktif

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 5.4.2 tekanan tanah dihitung berdasarkan harga nominal

$W_s$ ,  $C$ , dan  $\gamma_t$ . Pada bagian tanah di belakang dinding abutment terdapat beban tambahan yang setara dengan tanah setebal 0,60 m berupa beban merata ekivalen beban kendaraan pada bagian tersebut. Beban tekanan tanah akan membebani tembok penahan tanah dari kepala jembatan dengan arah horizontal, sehingga tekanan tanah ini dapat menimbulkan efek guling pada kepala jembatan.



Gambar 5. 5 Beban Tekanan Tanah Aktif pada Abutment

Data teknis :

Tinggi timbunan (H) = 3.725 m

Berat jenis tanah ( $\gamma_t$ ) = 1.8 t/m

Sudut geser tanah ( $\phi$ ) =  $30^\circ$

Lebar abutment ( $B_y$ ) = 27.3 m

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi) = 0.3333333$$

$$Q = 0.6 \times \gamma_t = 1.08 \text{ t/m}$$

$$P.Ta_1 = q \times K_a \times H \times B_y$$



$$\begin{aligned}
 &= 10,80 \times 0,34 \times 3.77 \times 27.3 \\
 &= 36.61 \text{ ton} \\
 P_{Ta2} &= 0.5 \times K_a \times \gamma t \times H^2 \times B_y \\
 &= 0.5 \times 0.34 \times 1.8 \times 3.77^2 \times 27.3 \\
 &= 113.64 \text{ ton} \\
 \text{total} &= 36.61 + 113.64 \\
 &= 150.25 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 5. Beban Gempa

$$\begin{aligned}
 E_q &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\
 N &= \frac{\sum t_i}{\sum t/n} \\
 &= \frac{24}{0.971} \\
 &24.71679
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4 Rekapitulasi Faktor Situs

PGA	SS (0.2)	S1 (1)	F PGA	Fa	Fv
0.2	0.5	0.3	1.4	1.4	1.8

#### Respon Spektrum Rencana

$$\begin{aligned}
 A_s &= F_{PGA} \times PGA \\
 &= 1.4 \times 0.2 \\
 &= 0.28 \\
 S_{DS} &= F_a \times S_s \\
 &= 1.4 \times 0.5 \\
 &= 0.7 \\
 S_{D1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1.8 \times 0.3 \\
 &= 0.54
 \end{aligned}$$

### Periode Gempa

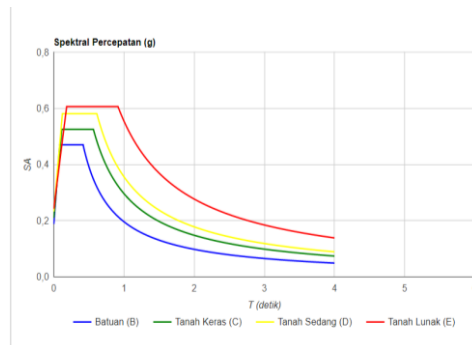
$$\begin{aligned}
 T &= 0,2 \\
 T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\
 &= \frac{0,54}{0,7} \\
 &= 0,77143
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \cdot T_s \\
 &= 0,2 \cdot 0,771429 \\
 &= 0,154286
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Didapatkan } T &> T_0 \\
 0,2 &> 0,154286
 \end{aligned}$$

Koefisien respons gempa elastic

$$\begin{aligned}
 C_{sm} &= S_{Ds} \\
 &= 0,7
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 6 Grafik Gempa

### Perhitungan Beban Gempa

#### a. Gempa pada bangunan atas

$$\begin{aligned}
 Eq_1 &= \frac{C_{sm}}{R} W_t \\
 &= \frac{0.7}{1} 869.1 \\
 &= 608.34 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### b. Gempa pada struktur bangunan bawah

$$\begin{aligned}
 Eq_2 &= \frac{C_{sm}}{R} W_t \\
 &= \frac{0.7}{1.5} 744.32 \\
 &= 347.35 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### 6. Beban Tekanan Tanah Akibat Gempa

Data teknis :

Berat jenis tanah ( $\gamma_t$ )	=	1.8 ton/m
Sudut geser tanah ( $\phi$ )	=	$30^\circ$
Rencana sudut tembok ( $\delta$ )	=	$20^\circ$
Sudut kemiringan timbunan ( $\alpha$ )	=	$0^\circ$
Sudut kemiringan tepi belakang tembok ( $\beta$ )	=	$0^\circ$
Koefisien tekanan tanah aktif ( $K_a$ )	=	0.333333
Koefisien gempa horizontal ( $K_h$ )	=	$A_s \times 0.5$
	=	0.14
Sudut geser tanah nominal ( $\theta$ )	=	$7.970^\circ$

#### a. Koefisien tekanan tanah dinamis

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{(1 + \sqrt{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \theta - \alpha)})^2}{\sqrt{\cos(\delta + \beta + \varphi) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \\
 &= 3,13 \\
 K_{AE} &= \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \alpha)}{\mu \cos\theta \cos 2\theta \cos(\delta + \beta + \varphi)} \\
 &= 0,31
 \end{aligned}$$

b. Tekanan tanah dinamis akibat gempa

$$\begin{aligned}
 E_{AE} &= \frac{\gamma t \times H^2}{2} \times (1 - K_v) \times K_{AE} \\
 &= 14 \text{ ton/m} \\
 E_{AE} &= E_{AE} \times B_y \\
 &= 14.1 \times 27.3 \\
 &= 384.93 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 7. Beban Angin

$$T_{Ew} = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b$$

Data teknis :

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan angin rencana (V}_w\text{)} &= 25 \text{ m/s} \\
 \text{Lebar jembatan (b)} &= 27.3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi samping jembatan} &= 2.93 \text{ m} \\
 \text{Bentang jembatan} &= 16.8 \text{ m} \\
 \text{Luas bagian samping (A}_b\text{)} &= 49.224 \text{ m}^2 \\
 \text{Koesien seret (C}_w\text{)} &= 1.25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{Ew} &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \\
 &= 0,0012 \times 1,25 \times 25^2 \times 43,68 \\
 &= 46.1475 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 8. Beban Rem (Berdasarkan RSNI T-02-2005)

Untuk jembatan dengan bentang 16,8 m ditetapkan gaya rem sebesar 250 kN atau setara dengan 5 ton  
 $H_x = 5 \text{ ton}$

### 5.1.2.2 Perhitungan Gaya Aksial Tiang Pancang

Perhitungan momen dan gaya dipusatkan pada center poer. Di bawah ini adalah perhitungannya.

Tabel 5. 4 Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Poer Abutment

NO	URAIAN	V	H <sub>x</sub>	H <sub>y</sub>
		ton	Ton	Ton
<b>I</b>	<b>Beban Tetap</b>			
	Struktur Bangunan Atas	869.06		
	Struktur Abutment	744.32		
	Tek tanah aktif 1		36.61	
	Tek tanah aktif 2		113.64	
<b>II</b>	<b>Beban Hidup</b>			
	BTR + BGT	107.40		
	Beban Rem		5.00	
	Beban Angin			46.15
<b>III</b>	<b>Aksi lain (Gempa)</b>			
	Eq Struktur Bangunan Atas		608.34	608.34
	Eq Abutment		347.35	347.35
	Eq Tek tanah dinamis		384.93	

**Lanjutan** Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Poer Abutment

x	y	z	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
m	m	m	ton	m

0.51			382.35	
		3.53	129.23	
		2.36	268.19	
		3.73	35.35	
		3.73		326.28
		3.73	4300.97	4300.97
		2.21	768.83	768.83
		3.53	1358.80	

Kombinasi – kombinasi untuk perhitungan kekuatan pondasi :

**Kombinasi 1 (D + L + Ta)**

$V_u$	=	1720.77 ton
$H_x$	=	150.25 ton
$H_y$	=	0 ton
$M_x$	=	779.78 ton.m
$M_y$	=	0 ton.m
Beban servis	=	1871.02

**Kombinasi 2 (D + L + Ta + Tb)**

$V_u$	=	1720.77 ton
$H_x$	=	155.25 ton
$H_y$	=	0 ton
$M_x$	=	815.13 ton·m

$$\begin{aligned} M_y &= 0 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ \text{Beban servis} &= 1876.02 \end{aligned}$$

**Kombinasi 3 (D + L + Ta + Tb + Tew)**

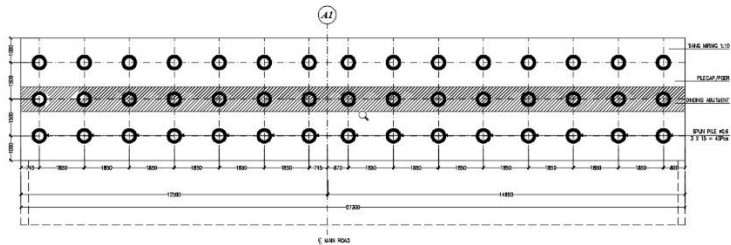
$$\begin{aligned} V_u &= 1720.77 \text{ ton} \\ H_x &= 155.25 \text{ ton} \\ H_y &= 46.15 \text{ ton} \\ M_x &= 546.93 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ M_y &= 326.26 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ \text{Beban servis} &= 1922.17 \end{aligned}$$

**Kombinasi 4 (D + Ex + 30%Ey + Taq)**

$$\begin{aligned} V_u &= 1613.38 \text{ ton} \\ H_x &= 1340.62 \text{ ton} \\ H_y &= 286.71 \text{ ton} \\ M_x &= 6810.95 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ M_y &= 4531.61 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ \text{Beban servis} &= 3240.70 \end{aligned}$$

**Kombinasi 5 (D + 30%Ex + Ey + Taq)**

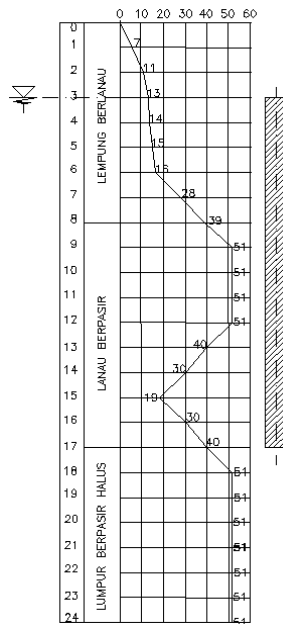
$$\begin{aligned} V_u &= 1613.38 \text{ ton} \\ H_x &= 402.19 \text{ ton} \\ H_y &= 955.69 \text{ ton} \\ M_x &= 2043.28 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ M_y &= 5069.79 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ \text{Beban servis} &= 2971.25 \end{aligned}$$



### Gambar 5. 7 Konfigurasi Tiang Pancang Abutment

### 5.1.2.3 Perhitungan Daya Dukung Tanah

Berikut adalah perhitungan daya dukung tanah berdasarkan penyelidikan data tanah SPT.



Gambar 5. 8 Data Tanah SPT



- $Q_u = R_t + R_f \text{ (Ton)}$   
 $R_t = q_d \times A_p \text{ tiang (Ton)}$   
 $R_f = \sum l_i \cdot f_i \times A_s \text{ tiang (Ton)}$   
 $q_d = (q_d/N) \times N \text{ rata-rata}$   
 $q_d/N = (\text{diagram } q_d/N, \text{ Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Ir.Suyono Sosrodarsno, Kazuto N})$   
 $I = \text{Nilai Penetrasi / Diameter tiang pancang}$   
 $l_i = \text{Panjang Segmen yang ditinjau (m)}$   
 $f_i = \text{Gaya geser pada selimut tiang}$   
 $= N/5 (\leq 10) \text{ Tanah Berpasir}$   
 $= N (\leq 12) \text{ Tanah Kohesif}$

Data Perencanaan Tiang Pancang :

- $D \text{ spun pile} = 0.6 \text{ m}$   
 $\text{Mutu Beton} = K600 / 50 \text{ MPa}$   
 $A_p = 0.283 \text{ m}^2$   
 $A_{st} = 1.884 \text{ m}$   
 $S_f = 2 \text{ untuk beban sementara}$   
 $S_f = 3 \text{ untuk beban tetap}$   
 $P \text{ ijin bahan} = 252.7 \text{ ton}$

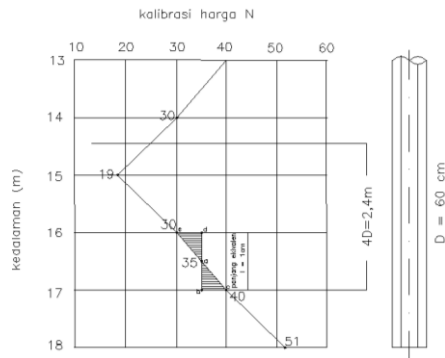
Perhitungan Daya Dukung Tanah :

1. Mencari panjang ekuivalen dari penetrasi tiang:

- a. Harga  $N$  pada ujung tiang  $N_1 = 40$ .
- b. Harga  $N$  rata-rata pada jarak  $4D$  dari ujung tiang.

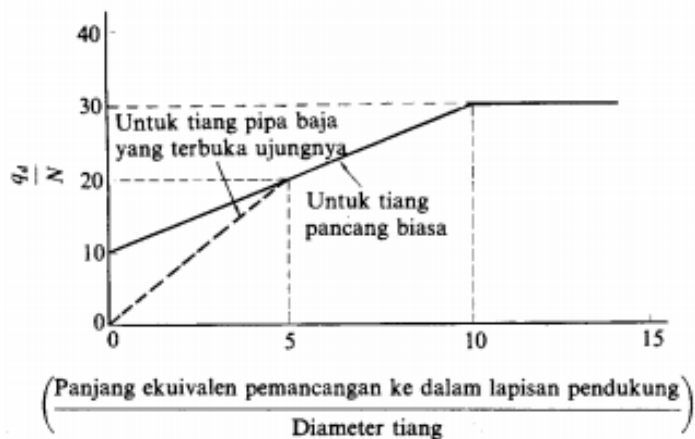
$$a. N_2 = \frac{40+30+19+30}{4} = 29.67$$

$$c. N = \frac{N_1 + N_2}{2} = 35$$



Gambar 5. 9 Menentukan Panjang Ekuivalen Penetrasi sampai ke Lapisan Pendukung

2. Daya dukung pada ujung tiang : karena menggunakan spun pile (tiang pancang biasa) maka dipakai garis lurus penuh pada gambar berikut.



Gambar 5. 10 Diagram perhitungan dari intensitas daya dukung ultimate tanah pada pondasi pada ujung tiang

$$\frac{I}{D} = \frac{1}{0.6} = 1.67$$

$$\frac{q_d}{N} = N \text{ (diperoleh melalui grafik)}$$

$$q_d = 13 \cdot N$$

$$q_d = 13 \cdot 35 = 455 \text{ ton/m}^2$$

$$R_t = 455 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.6 \cdot 0.6}{4} = 128.65 \text{ ton}$$

3. Gaya geser maksimum dinding tiang : Harga rata-rata  $N$  bagi lapisan-lapisan tanah didapat dari data gambar hasil SPT tanah dan  $f_i$  yang sesuai dengan harga rata-rata  $N$  dapat diperoleh dengan melihat pada tabel berikut :

Tabel 5. 5 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang

(Satuan:  $t/m^2$ )

Jenis tanah pondasi \ Jenis tiang	Tiang pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	$c$ atau $N (\leq 12)$	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Selanjutnya gaya geser maksimum dinding tiang dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_f &= \text{Keliling penampang tiang} \times \Sigma f_i \cdot l_i \\ &= 3.14 \times 0.6 \times 167.17 \\ &= 315.10 \text{ ton} \end{aligned}$$

4. Daya Dukung Ultimate

$$\begin{aligned} R_u &= R_f + R_t \\ &= 128.65 + 315.10 \\ &= 443.75 \text{ ton} \end{aligned}$$

5. Daya Dukung yang Diijinkan

$$\begin{aligned} \text{a. untuk beban sementara:} \\ (R_u/S_f) - W_p &= 443.75/2 - 6.68 \\ &= 215.19 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. untuk beban tetap:

$$\begin{aligned} (Ru/Sf) - W_p &= 443.75/3 - 6.68 \\ &= 141.24 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Tanah

Depth (m)	$f_i$ (t/m <sup>2</sup> )	$l_i$ *tebal (t/m)	$S (l_i \times f_i)$ (t/m <sup>2</sup> )	N <sub>2</sub> (4D)	N
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1	3.25	3.25	3.25	3.25	4.88
-2	5.42	5.42	8.67	5.78	8.31
-3	6.50	6.50	15.17	7.58	10.29
-4	7.00	7.00	22.17	11.08	12.54
-5	7.50	7.50	29.67	13.21	14.10
-6	8.00	8.00	37.67	14.50	15.25
-7	12.00	12.00	49.67	18.17	22.92
-8	12.00	12.00	61.67	24.50	31.92
-9	12.00	12.00	73.67	33.50	42.25
-10	12.00	12.00	85.67	42.25	46.63
-11	12.00	12.00	97.67	48.08	49.54
-12	12.00	12.00	80.00	51.00	51.00
-13	12.00	12.00	121.67	48.33	44.33
-14	12.00	12.00	133.67	43.00	36.33
-15	9.50	9.50	143.17	35.00	27.00
-16	12.00	12.00	155.17	29.67	29.67
-17	12.00	12.00	167.17	29.67	35.00
-18	10.00	10.00	177.17	35.00	43.00
-19	12.00	12.00	189.17	43.00	47.00
-20	12.00	12.00	201.17	48.33	49.67

-21	12.00	12.00	213.17	51.00	51.00
-22	12.00	12.00	225.17	51.00	51.00
-23	12.00	12.00	237.17	51.00	51.00
-24	12.00	12.00	249.17	51.00	51.00

***Lanjutan*** Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung  
Tanah Tiap Meter

Depth (m)	Nilai Penetrasi	I	qd/N	qd	Rt
0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
-1	0.00	0.00	0	0.00	0.00
-2	1.50	2.50	15	124.58	35.23
-3	2.50	4.17	19	190.40	53.83
-4	3.00	5.00	20	250.83	70.92
-5	2.00	3.33	17	239.77	67.79
-6	2.00	3.33	17	259.25	73.30
-7	1.00	1.67	13	297.92	84.23
-8	1.46	2.43	15	478.75	135.36
-9	1.50	2.50	15	633.75	179.19
-10	2.84	4.73	19	885.88	250.48
-11	4.34	7.23	23	1139.46	322.17
-12	6.16	10.27	30	1530.00	432.60
-13	0.74	1.23	13	554.17	156.69
-14	1.16	1.93	14	490.50	138.69
-15	1.46	2.43	15	405.00	114.51
-16	3.82	6.37	22	652.67	184.54
-17	1.00	1.67	13	455.00	128.65
-18	1.46	2.43	15	645.00	182.37

-19	2.72	4.53	19	893.00	252.49
-20	4.36	7.27	23	1142.33	322.99
-21	6.00	10.00	30	1530.00	432.60
-22	8.00	13.33	30	1530.00	432.60
-23	10.00	16.67	30	1530.00	432.60
-24	12.00	20.00	30	1530.00	432.60

***Lanjutan*** Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Tanah Tiap Meter

Depth (m)	Rf	Wp (ton)	Qu (ton)	P ijin tekan (ton)		P ijin tarik (ton)	
				2	3	4	2.5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1	6.13	0.39	6.13	2.67	1.65	1.53	2.45
-2	16.34	0.79	51.56	24.99	16.40	4.08	6.53
-3	28.59	1.18	82.42	40.03	26.29	7.15	11.44
-4	41.78	1.57	112.70	54.78	36.00	10.45	16.71
-5	55.92	1.97	123.71	59.89	39.27	13.98	22.37
-6	71.00	2.36	144.30	69.79	45.74	17.75	28.40
-7	93.62	2.75	177.85	86.18	56.53	23.40	37.45
-8	116.24	3.14	251.60	122.66	80.72	29.06	46.50
-9	138.86	3.54	318.05	155.49	102.48	34.71	55.54
-10	161.48	3.93	411.95	202.05	133.39	40.37	64.59
-11	184.10	4.32	506.27	248.81	164.43	46.02	73.64
-12	150.80	4.72	583.39	286.98	189.75	37.70	60.32
-13	229.34	5.11	386.02	187.90	123.57	57.33	91.73
-14	251.96	5.50	390.64	189.82	124.71	62.99	100.78
-15	269.86	5.90	384.37	186.29	122.23	67.47	107.95
-16	292.48	6.29	477.02	232.22	152.72	73.12	116.99

-17	315.10	6.68	443.75	215.19	141.24	78.78	126.04
-18	333.95	7.07	516.32	251.09	165.03	83.49	133.58
-19	356.57	7.47	609.06	297.06	195.55	89.14	142.63
-20	379.19	7.86	702.18	343.23	226.20	94.80	151.68
-21	401.81	8.25	834.41	408.95	269.88	100.45	160.72
-22	424.43	8.65	857.03	419.87	277.03	106.11	169.77
-23	447.05	9.04	879.65	430.78	284.18	111.76	178.82
-24	469.67	9.43	902.27	441.70	291.32	117.42	187.87

Tabel 5. 7 Kontrol Daya Dukung Tiang

<b>Pu Bahan (ton)</b>	<b>Daya Dukung Ultimate (ton)</b>	<b>Kontrol</b>
505.40	443.75	OK
<b>P Sementara (ton)</b>	<b>P ijin Sementara (ton)</b>	
138.42	215.19	OK
<b>P Tetap (ton)</b>	<b>P Ijin Tetap (ton)</b>	
64.56	141.24	OK
<b>P Bahan (ton)</b>	<b>P Aksial (ton)</b>	
252.70	138.42	OK

Gaya tarik tiang yang diizinkan adalah suatu harga yang diperoleh dengan membagi gaya tarik maksimum sebuah tiang dengan suatu faktor keamanan (safety factor) tertentu, disini faktor kewanaman ditetapkan sebesar 2,5.

$P \text{ cabut maks (ton)} < \text{Kapasitas cabut (ton)}$   
 $-30.86 \text{ ton} < 126.04 \text{ ton (OK)}$

#### 5.1.2.4 Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang Berdasarkan nilai SPT

Rumus Mayerhoff

$$Pa \text{ tekan} = \frac{qc \cdot Ap + \sum li \cdot fi \times Ast}{SF2}$$

$$Pa \text{ cabut} = \frac{qc \cdot Ap + \sum li \cdot fi \times Ast}{SF3}$$

Keterangan :

Pa : daya dukung ijin tekan tiang

qc clay : 20

qc pasir : 40

N : nilai N SPT

Ap : luas penampang tiang

As : keliling penampang tiang

li : panjang segmen tiang yang ditinjau

fi : gaya geser pada selimut segmen tiang

SF1 : 2

SF2 : 3

SF3 : 6

N/1  $\geq$  12 ton/m<sup>2</sup> untuk clay

N/5  $\geq$  10 ton/m<sup>2</sup> untuk sand

Tabel 5. 8 Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang Berdasarkan Nilai SPT

Depth (m)	Tanah	N (SPT)	li (m)	qc (t/m <sup>2</sup> )	fi (t/m <sup>2</sup> )	li fi (t/m <sup>2</sup> )
0	CLAY	0	1	0	0	0
-1	CLAY	7	1	130	7	7
-2	CLAY	11	1	217	11	11
-3	CLAY	13	1	260	13	13



-4	CLAY	14	1	280	14	14
-5	CLAY	15	1	300	15	15
-6	CLAY	16	1	320	16	16
-7	CLAY	28	1	553	28	28
-8	CLAY	39	1	787	39	39
-9	SAND	51	1	2040	10.2	10
-10	SAND	51	1	2040	10.2	10
-11	SAND	51	1	2040	10.2	10
-12	SAND	51	1	2040	10.2	10
-13	SAND	40	1	1613	8	8
-14	SAND	30	1	1187	6	6
-15	CLAY	19	1	380	19	19
-16	CLAY	19	1	380	19	19
-17	CLAY	40	1	807	40	40
-18	SAND	51	1	2040	10.2	10
-19	CLAY	51	1	1020	51	51
-20	CLAY	51	1	1020	51	51
-21	CLAY	51	1	1020	51	51
-22	CLAY	51	1	1020	51	51
-23	CLAY	51	1	1020	51	51
-24	CLAY	51	1	1020	51	51

**Lanjutan** Perhitungan daya dukung ijin tiang berdasarkan nilai SPT

Depth (m)	Tanah	Total Lifi	Qu	SF		
		(t/m)	(ton)	2	3	6
0	CLAY	0	0	0	0	0
-1	CLAY	7	48.98	24.49	16.33	8.16

-2	CLAY	17	93.89	46.94	31.30	15.65
-3	CLAY	30	130.6	65.31	43.54	21.77
-4	CLAY	44	162.7	81.33	54.22	27.11
-5	CLAY	59	196.6	98.28	65.52	32.76
-6	CLAY	75	232.4	116.18	77.45	38.73
-7	CLAY	103	350.4	175.21	116.81	58.40
-8	CLAY	142	490.5	245.23	163.49	81.74
-9	SAND	153	863.9	431.94	287.96	143.98
-10	SAND	163	883.1	441.55	294.36	147.18
-11	SAND	173	902.3	451.16	300.77	150.39
-12	SAND	183	921.5	460.76	307.18	153.59
-13	SAND	191	816.1	408.07	272.05	136.02
-14	SAND	197	706.8	353.38	235.58	117.79
-15	CLAY	216	514.6	257.29	171.53	85.76
-16	CLAY	246	630.8	315.38	210.25	105.13
-17	CLAY	286	767	383.52	255.68	127.84
-18	SAND	296	1135	567.40	378.27	189.13
-19	CLAY	347	942.6	471.31	314.21	157.10
-20	CLAY	398	1039	519.36	346.24	173.12
-21	CLAY	449	1135	567.40	378.27	189.13
-22	CLAY	500	1231	615.44	410.29	205.15
-23	CLAY	551	1327	663.48	442.32	221.16
-24	CLAY	602	1423	711.52	474.35	237.17

#### **5.1.2.5 Perhitungan Efisiensi Tiang Pancang**

Untuk menghitung daya dukung tiang kelompok direncanakan konfigurasi dan koefisien. Perhitungan efisiensi tiang kelompok adalah sebagai berikut :

$$E_g = 1 - 0 \frac{(n-1)m + (m-1)n}{n}$$

---


$$90 \cdot m \cdot n$$

Diameter tiang pancang, D	=	0.6 m
Jarak antar tiang, S	=	1.83 m
Jumlah tiang dalam satu kolom, m	=	15
Jumlah tiang dalam satu baris, n	=	2
$\theta = \arctan (D/s)$	=	18.15
Eg	=	0.71

$$\begin{aligned}
 &\text{Daya dukung vertikal kelompok tiang} \\
 &= E_g \cdot \text{jumlah pile} \cdot \text{daya dukung tiang} \\
 &= 0.68 \cdot 45 \cdot 315.38 \\
 &= 9658.46 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Daya dukung vertikal kelompok tiang} > P_u \\
 &9658.46 \text{ ton} > 1979.41 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

### **5.1.2.6 Kontrol Kekuatan Tiang Pancang**

#### **5.1.2.6.1 Kontrol Terhadap Gaya Aksial Vertikal**

Dari tabel Gaya Aksial per tiang dapat diketahui gaya aksial terbesar yang terjadi pada tiang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P \text{ sementara} &= 138.42 \text{ ton} \\
 P \text{ Tetap} &= 64.56 \text{ ton} \\
 P \text{ cabut} &= -30.86
 \end{aligned}$$

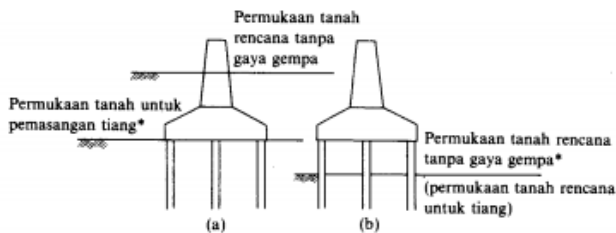
Kontrol :

$$\begin{aligned}
 P \text{ sementara} &< P \text{ ijin sementara} \\
 138.42 \text{ ton} &< 215.19 \text{ ton (OK)} \\
 P \text{ tetap} &< P \text{ ijin tetap} \\
 35.73 \text{ ton} &< 141.24 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

### 5.1.2.6.2 Kontrol Terhadap Beban Horizontal

Untuk mengamati gaya penahan mendarat pada tiang dipakai suatu cara untuk menentukan daya dukung yang diizinkan berdasarkan tegangan didalam tubuh tiang dan besarnya pergeseran pada kepala tiang. Pada cara ini tiang dihitung sebagai suatu balok diatas pondasi yang elastis yang dinyatakan dengan tegangan pada tubuh tiang, besarnya pergeseran pada kepala tiang dan koefisien reaksi lapisan tanah dibawahnya.

Bila besarnya pergeseran yang diizinkan pada kepala tiang adalah besaran yang paling maksimum dari bangunan diatasnya, suatu gaya yang lebih kecil yang berasal dari gaya mendarat yang ditetapkan berdasarkan besarnya pergeseran ini, dan gaya mendarat ketika tegangan dalam tubuh tiang mencapai tegangan yang diizinkan, inilah yang disebut daya dukung (bearing capacity) . Berikut ini adalah detail perhitungan untuk tiang yang terbenam di dalam tanah:



\*Tempat di mana besarnya perpindahan normal dapat diketahui

Gambar 5. 11 Cara Menentukan Permukaan Tanah Rencana Untuk Tiang

$$H_a = \frac{k \cdot D}{\beta} \cdot \delta a$$

$H_a$  = Daya dukung mendatar yang diizinkan (kg)

$K$  = Koefisien reaksi lapisan tanah dibawah permukaan dalam arah vertikal (kg/m<sup>3</sup>)

$D$  = Diameter tiang (cm)

$\delta a$  = Besarnya pergeseran normal (cm)

$\beta$  = Nilai karakteristik tiang

Mencari Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k)

$$K = 0.2 \cdot E_o \cdot D^{-0.75} \cdot \delta a^{-0.5}$$

$$E_o = 28 \text{ N SPT min}$$

$$= 28 \cdot 14$$

$$= 392 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$D^{-0.75} = 60^{-0.75}$$

$$= 0.046 \text{ (cm)}$$

$$\delta a^{-0.5} = 1^{-0.5}$$

$$\delta a^{-0.5} = 1 \text{ cm}$$

$$K = 0.2 \cdot E_o \cdot D^{-0.75} \cdot \delta a^{-0.5}$$

$$= 0.2 \cdot 640 \cdot 0.046 \cdot 1$$

$$= 7.79 \text{ kg/cm}^3$$

Mencari Nilai Karakteristik Tiang

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}}$$

$$k = 7.79 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

$$D = 60 \text{ cm}$$

$$E = 4700 \cdot f_c^{0.5} \cdot 10$$

$$= 4700 \cdot 50^{0.5} \cdot 10$$

$$= 331674.84 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$I = \pi/64 \cdot D^4$$

$$= 3.14/64 \cdot 60^4$$

$$= 636172.52 \text{ cm}^4$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot EI}}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{7.79 \cdot 60}{4 \cdot 331674.84 \cdot 636172.52}}$$

$$\beta = 0.0048$$

Mencari Daya Dukung Mendatar yang Diijinkan

$$H_a = \frac{k \cdot D}{\beta} \delta a$$

$$= \frac{7.79 \cdot 60}{0.004} 1$$

$$= 96412.80 \text{ kg} = 96.41 \text{ ton}$$

Mencari Gaya-gaya Horizontal yang Bekerja  
(Beban Tetap)

- a. Gaya horizontal ( $H_x$ ) diperoleh dari gaya searah dengan arah sumbu x, diantaranya :

Tabel 5. 9 Gaya Horizontal Searah Sumbu X pada Beban Tetap

<b>Beban (<math>H_x</math>)</b>	<b>Gaya (Ton)</b>
Beban Rem	12.38
<i>Total</i>	12.38

- b. Gaya horizontal ( $H_y$ ) diperoleh dari gaya searah dengan arah sumbu y, diantaranya :

Tabel 5. 10 Gaya Horizontal Searah Sumbu Y pada Beban Tetap

<b>Beban (<math>H_y</math>)</b>	<b>Gaya (Ton)</b>
Beban Angin	23.07
<i>Total</i>	23.07

Mencari Gaya-gaya Horizontal yang Bekerja  
(Beban Sementara)

- a. Gaya-gaya horizontal ( $H_x$ ) diperoleh dari gaya searah dengan arah sumbu x, diantaranya :  
Tabel 5. 11 Gaya-gaya Horizontal dari Arah Sumbu X pada Beban Sementara

<b>Beban (<math>H_x</math>)</b>	<b>Gaya (ton)</b>
Beban Rem	12.38
Tekanan tanah dinamis gempa	384.93
Beban 100% gempa	939.40
<i>Total</i>	1336.71

- b. Gaya-gaya horizontal ( $H_x$ ) diperoleh dari gaya searah dengan arah sumbu y, diantaranya :  
Tabel 5. 12 Gaya-gaya Horizontal Searah Sumbu Y pada Beban Sementara

<b>Beban (<math>H_y</math>)</b>	<b>Gaya (Ton)</b>
Beban Angin	23.07
Beban 30% gempa	281.82
<i>Total</i>	304.89

Kontrol Daya Dukung Horizontal

Total Beban Horizontal (tetap) yang bekerja:

$$\begin{aligned}
 H &= (H_x^2 + H_y^2)^{0.5} \\
 &= (152045 + 2130)^{0.5} \\
 &= 392.651 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Total Beban Horizontal (sementara) yang bekerja :

$$\begin{aligned}
 H &= (H_x^2 + H_y^2)^{0.5} \\
 &= (1810689 + 110792)^{0.5} \\
 &= 1386.175 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ha' &= \frac{P \text{ DDT} \times \text{Efisiensi}}{\sqrt{(1 + 100)}} \\
 &= \frac{215.19 \times 0.7109}{\sqrt{(1 + 100)}} \\
 &= 15.222 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$H < Ha' + Ha$$

$$\begin{aligned}
 H &< (\sum \text{tiang tegak} \times Ha) + (\sum \text{tiang miring} \times Ha') \\
 1386.175 &< 1674.5257 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas tiang pancang mampu menahan gaya horizontal yang terjadi, namun untuk keamanan tetap dipasang tiang pancang miring sejumlah 15 buah dengan perbandingan kemiringan 1 : 10.

Tabel 5. 13 Kontrol Beban Horizontal

Beban Horizontal	Gaya (ton)	D. Dukung (ton)	Kontrol
H tetap	13.09	18	OK
H sementara	46.21	27	NOT OK

Dari perhitungan Daya Dukung Horizontal diatas dapat diketahui bahwa tiang pancang tegak tidak mampu menahan gaya horizontal dari pembebanan secara horizontal diatas, maka harus ada tiang pancang yang miring, berikut adalah detail perhitungannya:



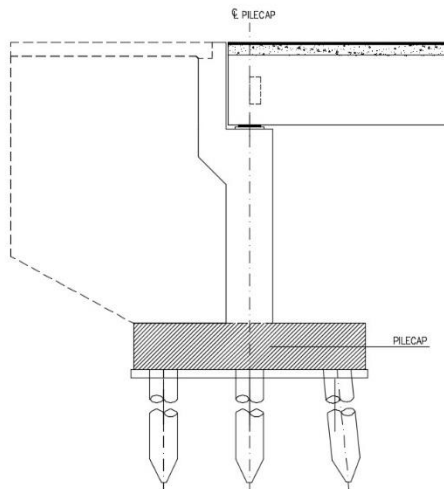
### 5.1.2.6.3 Kontrol Momen

$$\begin{aligned}
 \text{Momen pada Tiang Pancang} &= 0.2079 \times \frac{H}{2 \times \beta} \\
 &= 0.2079 \times \frac{30.468}{2 \times 0.004} \\
 &= 661.45 \text{ Kg.cm} \\
 &= 0.006611 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi < Momen Ultimate  
 0.01 ton·m < 17 ton·m (OK)

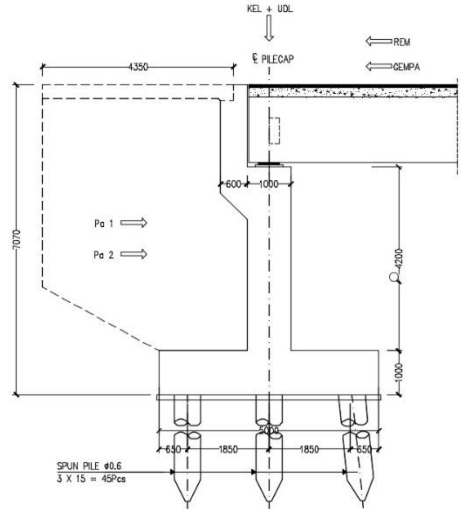
### 5.1.3 Perhitungan Pile Cap

Perhitungan analisis pile cap berdasarkan pembebanan dalam keadaan batas ( ultimit ). Beban yang dihitung dari beban P yang terjadi pada tiang pancang, Dibawah ini adalah analisis perencanaan pile cap.



Gambar 5. 12 Perhitungan Pile Cap

5.1.3.1 Analisis Pembebanan Pile Cap



Gambar 5. 13 Beban Pada Poer Abutment

Tabel 5. 14 Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Pile Cap

NO	URAIAN	V	Hx	Hy	x
		ton	ton	ton	m
I	<b>Beban Tetap</b>				
	Struktur Bangunan Atas	869.06			
	Struktur Abutment	744.32			0.51
	Tek tanah aktif 1		36.61		
	Tek tanah aktif 2		113.64		
II	<b>Beban Hidup</b>				
	BTR + BGT	107.40			
	Beban Rem		5		
	Beban Angin			46.15	

<b>III</b>	<b>Aksi lain (Gempa)</b>				
	Eq Struktur Bangunan Atas		608.34	608.34	
	Eq Abutment		347.35	347.35	
	Eq Tek tanah dinamis		384.93		

***Lanjutan*** Perhitungan Gaya dan Momen pada Center Pile Cap

NO	URAIAN	y	z	Mx	My
		m	m	Ton	m
<b>I</b>	<b>Beban Tetap</b>				
	Struktur Bangunan Atas				
	Struktur Abutment			382.35	
	Tek tanah aktif 1		3.53	129.23	
	Tek tanah aktif 2		2.36	268.19	
<b>II</b>	<b>Beban Hidup</b>				
	BTR + BGT				
	Beban Rem		7.07	35.35	
	Beban Angin		7.07		326.26
<b>III</b>	<b>Aksi lain (Gempa)</b>				
	Eq Struktur Bangunan Atas		7.07	4300.97	4300.97
	Eq Abutment		2.21	768.83	768.83
	Eq Tek tanah dinamis		3.53	1358.8	

Kombinasi yang digunakan untuk kekuatan pondasi adalah :

Kombinasi 1 ( $1,3D + 2L + 2Tb + 1,2Tew + 1,25Ta$ )

Vu = 2312.13 ton

Hx = 197.81 ton

$$\begin{aligned}
 H_y &= 55.38 \text{ ton} \\
 M_x &= 1064.54 \text{ ton}\cdot\text{m} \\
 M_y &= 391.52 \text{ ton}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

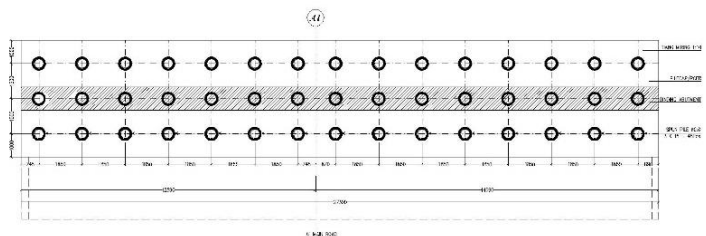
Kombinasi 2 (1,3D + 30%Ex + Ey)

$$\begin{aligned}
 V_u &= 2097.39 \text{ ton} \\
 H_x &= 671.64 \text{ ton} \\
 H_y &= 955.69 \text{ ton} \\
 M_x &= 2879.74 \text{ ton}\cdot\text{m} \\
 M_y &= 5069.79 \text{ ton}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 3 (1,3D + Ex + 30%Ey)

$$\begin{aligned}
 V_u &= 2097.39 \text{ ton} \\
 H_x &= 1340.62 \text{ ton} \\
 H_y &= 286.71 \text{ ton} \\
 M_x &= 6428.60 \text{ ton}\cdot\text{m} \\
 M_y &= 1520.94 \text{ ton}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

Konfigurasi tiang pancang yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 14 Konfigurasi Tiang Pancang Abutment

### 5.1.3.2 Beban Maksimum pada Kelompok Tiang

$$P \text{ maks} = \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \cdot x_{\text{maks}}}{n_y \cdot \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_{\text{maks}}}{n_x \cdot \sum y^2}$$

Keterangan :

- $P_u$  = gaya aksial yang terjadi  
 $M_y$  = moemen yang bekerja tegak lurus sumbu Y  
 $M_x$  = moemen yang bekerja tegak lurus sumbu X  
 $X_{\text{max}}$  = jarak tiang arah sumbu X terjauh  
 $Y_{\text{max}}$  = jarak tiang arah sumbu Y terjauh  
 $\sum x^2$  = jumlah kuadrat X  
 $\sum y^2$  = jumlah kuadrat Y  
 $N_x$  = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x  
 $N_y$  = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y  
 $N_p$  = jumlah tiang

Tabel 5. 15 Perhitungan Gaya Aksial Per Tiang

Tiang No	x	y	$x^2$	$y^2$
1	-1.6	-12.81	2.56	164.10
2	-1.6	-10.98	2.56	120.56
3	-1.6	-9.15	2.56	83.72
4	-1.6	-7.32	2.56	53.58
5	-1.6	-5.49	2.56	30.14
6	-1.6	-3.66	2.56	13.40
7	-1.6	-1.83	2.56	3.35
8	-1.6	0	2.56	0.00
9	-1.6	1.83	2.56	3.35
10	-1.6	3.66	2.56	13.40

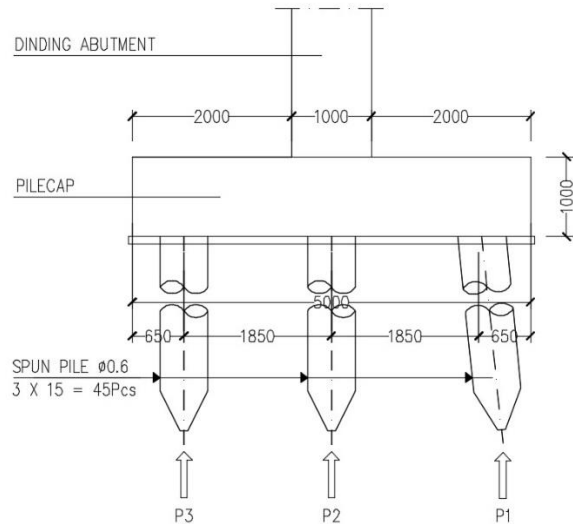
11	-1.6	5.49	2.56	30.14
12	-1.6	7.32	2.56	53.58
13	-1.6	9.15	2.56	83.72
14	-1.6	10.98	2.56	120.56
15	-1.6	12.81	2.56	164.10
16	1.6	-12.81	2.56	164.10
17	1.6	-10.98	2.56	120.56
18	1.6	-9.15	2.56	83.72
19	1.6	-7.32	2.56	53.58
20	1.6	-5.49	2.56	30.14
21	1.6	-3.66	2.56	13.40
22	1.6	-1.83	2.56	3.35
23	1.6	0	2.56	0.00
24	1.6	1.83	2.56	3.35
25	1.6	3.66	2.56	13.40
26	1.6	5.49	2.56	30.14
27	1.6	7.32	2.56	53.58
28	1.6	9.15	2.56	83.72
29	1.6	10.98	2.56	120.56
30	1.6	12.81	2.56	164.10
Total			76.8	1875.38

***Lanjutan*** Perhitungan Gaya Aksial Per Tiang

Tiang No	Komb 1	Komb 2	Komb 3
1	61.64	-55.38	-55.38
2	62.68	-52.57	-52.57
3	63.72	-49.76	-49.76
4	64.76	-46.95	-46.95

5	65.80	-44.14	-44.14
6	66.84	-41.33	-41.33
7	67.88	-38.52	-38.52
8	68.92	-35.71	-35.71
9	69.96	-32.90	-32.90
10	70.99	-30.09	-30.09
11	72.03	-27.28	-27.28
12	73.07	-24.47	-24.47
13	74.11	-21.66	-21.66
14	75.15	-18.85	-18.85
15	76.19	-16.04	-16.04
16	77.96	155.86	155.86
17	79.00	158.67	158.67
18	80.04	161.48	161.48
19	81.07	164.29	164.29
20	82.11	167.10	167.10
21	83.15	169.91	169.91
22	84.19	172.72	172.72
23	85.23	175.53	175.53
24	86.27	178.34	178.34
25	87.31	181.15	181.15
26	88.35	183.96	183.96
27	89.38	186.77	186.77
28	90.42	189.58	189.58
29	91.46	192.39	192.39
30	92.50	195.20	195.20

5.1.3.3 Perhitungan Gaya dan Momen pada Pile Cap



Gambar 5. 15 Gaya dan Momen pada Pile Cap

Tabel 5. 16 Perhitungan Reaksi Tiang Pancang

Baris pancang	P Komb 1 (ton)	P Komb 2 (ton)	P Komb 3 (ton)
1	1091.63	100.29	100.29
2	1220.56	1997.10	1997.10

Tabel 5. 17 Perhitungan Momen Pile Cap

Reaksi Akibat	x	Momen		
	m	P komb 1	P komb 2	P komb 3
1	1.5	1637.45	150.43	150.43
2	0	0	0	0



$$\begin{aligned}
 \mu_u &= \frac{\text{Momen max pada baris pancang}}{\text{lebar abutment}} \\
 &= \frac{1637.44587}{27.3} \\
 &= 59.9797024 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

#### 5.1.4.4 Penulangan Pile Cap Abutment

##### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 1570 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 950 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 22 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 13 \text{ mm}$
$\mu_u$	$= 46.04 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$
$(f_c' < 30 \text{ MPa})$	

$$M_n = \frac{\mu_u}{\Phi} = \frac{59.98 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 74.97 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.0271
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_b \\
 &= 0.75 \cdot 0.0271 \\
 &= 0.0203
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.824$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} = \frac{749.75 \times 10^6}{1000 \cdot (950)^2} = 0,83 \text{ ton/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,83}{400}} \right) \\
 &= 0,0021
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0021 < 0,0203 \\
 \text{Maka diambil } \rho &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 950 \\
 &= 3325 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D22

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 22^2 \\
 &= 379.94 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{379.94 \cdot b}{3325} \\
 &= \frac{200,96 \cdot 1000}{3325} \\
 &= 114.27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D22 – 100 ( $A_s = 3799 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned} As' &= 20\% \cdot As \\ &= 20\% \cdot 3325 \\ &= 665 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D16

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 200.96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{As \text{ pasang} \cdot b}{As \text{ perlu}} \\ &= \frac{665 \cdot 1000}{200.96} \\ &= 302 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D16 – 300  
( $As = 670 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Tekan

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0021 \cdot 1000 \cdot 950 \\ &= 2013.17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Tekan D22

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 22^2 \\ &= 379.94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{As \text{ pasang} \cdot b}{As \text{ perlu}} \\ &= \frac{379.94 \cdot 1000}{2013.17} \\ &= 189 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan D22 – 180 ( $As \text{ pasang} = 2111 \text{ mm}^2$ )

## ♦ Kontrol Geser Pons

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 3454 \cdot 1520 \\
 &= 4375067 \text{ N} = 438 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{P_{\text{maks}}}{\Phi} \\
 &= \frac{148.640}{0,7} \\
 &= 212 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$V_c > V_u$$

$$438 \text{ ton} > 212 \text{ ton (OK)}$$

## ♦ Tulangan Geser

$$V_u = 73 \text{ ton} = 731538 \text{ N}$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 950 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 950 \\
 &= 791667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ min} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$= \frac{1000 \cdot 950}{3}$$

$$= 316667 \text{ N}$$

Kontrol kondisi geser

1.  $V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$   
 $731538 > 296875$  (NOT OK)
2.  $0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$   
 $296875 < 731538 > 593750$  (NOT OK)
3.  $\phi \times V_c < V_u < \phi (V_c + V_{smin})$   
 $593750 < 731538 < 831250$  (OK)
4.  $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $831250 > 731538 < 1781250$  (NOT OK)
5.  $\phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $1781250 > 731538 < 2968750$  (NOT OK)

Didapat kondisi 3 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser minimum. Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan diameter Ø12

Direncanakan tulangan geser berkaki Ø12

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2$$

$$= 113.04 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A_s$$

$$= 2 \cdot 113.04$$

$$= 226.08 \text{ mm}^2$$

Jarak antar sengkang

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

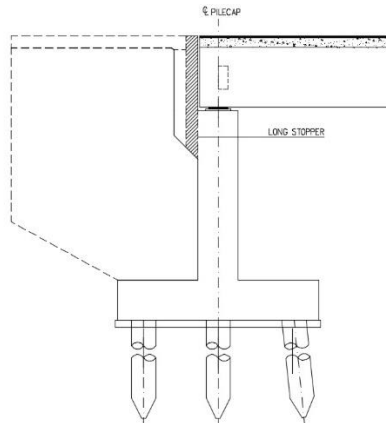
$$= \frac{226.08 \cdot 240 \cdot 250}{316666.67}$$

$$= 162.78 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser 2 kaki  $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$

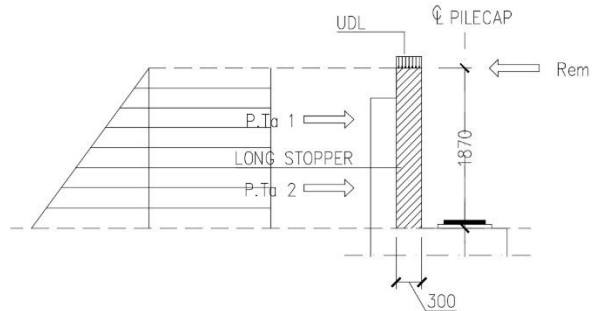
#### 5.1.4 Perhitungan Long Stopper

Perhitungan analisis longitudinal stopper berdasarkan pembebanan dalam keadaan batas ( ultimate ). Di bawah ini adalah analisis perencanaan longitudinal stopper.



Gambar 5. 16 Longitudinal Stopper

### 5.1.4.1 Analisis Pembebanan Long Stopper



Gambar 5. 17 Pembebanan pada Long Stopper

#### a. Beban Sendiri Longitudinal Stopper

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot W_c \\
 &= 1.57 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 1.18 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### b. Berat Korbel Belakang

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot W_c \\
 &= 1.22 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 0.92 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

#### c. Beban Rem

$$\begin{aligned}
 T_b &= 5 \\
 q &= \frac{T_b}{B_y} \\
 &= \frac{5}{27} \\
 &= 0.18 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

## d. Beban Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan (H)} &= 1.57 \text{ m} \\
 \text{Berat Jenis Tanah } (\gamma_t) &= 1.8 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Sudut geser tanah } (\phi) &= 30^\circ \\
 \text{Koefisien tanah aktif (Ka)} &= 0.3333333
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= 0.6 \cdot \gamma_t \\
 &= 0.6 \cdot 1.8 \\
 &= 1.08 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Ta_1} &= q \cdot K_a \cdot H \\
 &= 0.18 \cdot 0.33 \cdot 1.57 \\
 &= 0.57 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Ta_2} &= 0.5 \cdot K_a \cdot \gamma_t \cdot H^2 \\
 &= 0.5 \cdot 0.33 \cdot 1.8 \cdot 2.46 \\
 &= 0.74 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

## e. Beban Gempa

$$\begin{aligned}
 C_{sm} &= 0.7 \\
 R_{\text{bang bawah}} &= 1.5 \\
 R_{\text{bang atas}} &= 1 \\
 W_{\text{set bang atas}} &= 869.06 \text{ ton} \\
 \text{Beban sendiri stopper} &= 32.15 \text{ ton} \\
 \text{Berat Korbél} &= 24.98 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Akibat Bangunan Atas :

$$\begin{aligned}
 E_q &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0.7}{1} \times 463.88
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{608.34} \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{608.34}{27} \\
 &= 22.28 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Longitudinal Stopper :

$$\begin{aligned}
 Eq &= \frac{Csm}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0.7}{1} \times 32.15 \\
 &= 15 \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{15}{27.3} \\
 &= 0.55 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Korbel :

$$\begin{aligned}
 Eq &= \frac{Csm}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0.7}{1.5} \times 24.9795 \\
 &= 11.66 \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{11.66}{1}
 \end{aligned}$$

$$27.3$$

$$= 0.43 \text{ ton/m}$$

f. Beban Tekanan Tanah Aktif Akibat Gempa

$$\begin{aligned} \text{Tinggi timbunan (H)} &= 1.57 \text{ m} \\ \text{Berat Jenis Tanah } (\gamma_t) &= 1.8 \text{ ton/m}^3 \\ \text{Sudut geser tanah } (\phi) &= 30^\circ \\ \text{Koefisien tanah aktif (Ka)} &= 0.3333333 \\ \text{Koefisien gempa horizontal (Kh)} &= 0.14 \\ \text{Koefisien Tek tanah dinamis (Kae)} &= 0.31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{AE} &= \frac{\gamma_t \times H^2}{2} \cdot (1 - K_v) \cdot K_{AE} \\ &= \frac{1.8 \times 1.57^2}{2} \cdot 1 \cdot 0.31 \\ &= 0.69 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

#### 5.1.4.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Long Stopper

##### 1. Kombinasi 1 (1,3D + 2L + 2TB + 1,2TEW + 1,25Ta)

Tabel 5. 18 Kombinasi 1 Long Stopper Abutment

NO	Aksi/Beban	Faktor Beban	Vu	Hx	Lengan	Mx
			ton	ton	m	ton.m
1	Berat Sendiri	1.30	2.72		0.79	2.14
2	Tek Aktif 1	1.25		0.71	0.79	0.55
3	Tek Aktif 2	1.25		0.92	0.52	0.48
4	Beban Rem	2.00		0.37	1.57	0.58
<i>Total</i>			2.72	2.00	3.66	3.75

## 2. Kombinasi 2 (1,3D + 1Eq + 1Taq)

Tabel 5. 19 Kombinasi 2 Long Stopper Abutment

NO	Aksi/Beban	Faktor Beban	Vu	Hx	Lengan	Mx
			ton	ton	m	ton.m
1	Berat Sendiri	1.30	2.72		0.79	2.14
2	Beban Gempa	1.25		23.26	1.57	36.52
3	Tek Tanah Dinamis	1.25		0.69	0.79	0.54
<i>Total</i>			2.72	23.95	3.14	39.19

Untuk penulangan stopper dipakai hasil reaksi dari kombinasi 2, sebesar 39.19 ton·m

### 5.1.4.3 Penulangan Long Stopper

#### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 300 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1870 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 250 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 25 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 16 \text{ mm}$
Mu	$= 39.19 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$
$(f_c' < 30 \text{ MPa})$	

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{39.19 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 48.99 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18,824$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{489.92 \times 10^6}{1870 \cdot (250)^2} = 4.19 \text{ ton/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 4.19}{400}} \right) \\ &= 0,0118\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0118 < 0,0203 \\ \text{Maka diambil } \rho &= 0,0118\end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0118 \cdot 1870 \cdot 250 \\ &= 9499.75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D25

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 \\
 &= 490.625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{490.625 \cdot 1870}{9499.7461} \\
 &= 96.58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D25 – 90 ( $A_s = 10194 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

Luas Tulangan Bagi yang Diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 20\% \cdot A_s \\
 &= 20\% \cdot 9499.7461 \\
 &= 1900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D16

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\
 &= 200.96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

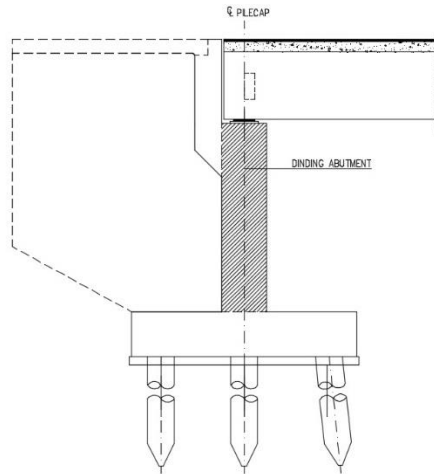
Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{283.385 \cdot 1870}{1900} \\
 &= 279 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D16 – 250 ( $A_s = 2120 \text{ mm}^2$ )

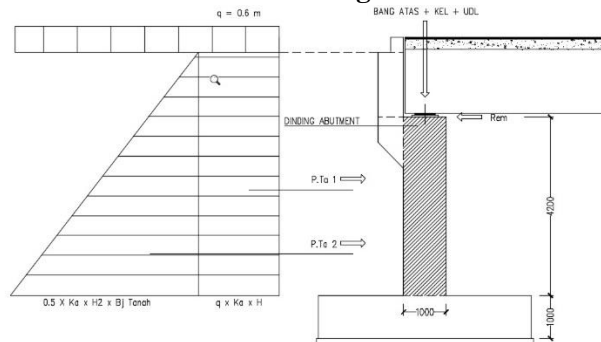
### 5.1.5 Perhitungan Dinding Abutment

Perhitungan analisis dinding abutment berdasarkan pembebanan dalam keadaan batas ( ultimate ). Berikut adalah analisis perencanaan dinding abutment.



Gambar 5. 18 Dinding Abutment

### 5.1.5.1 Analisis Pembebanan Dinding Abutment



Gambar 5. 19 Pembebanan Dinding Abutment

#### a. Beban Sendiri Dinding Abutment

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot Wc \\
 &= 2.51 \cdot 1 \cdot 2.5 \\
 &= 6.27 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

**b. Beban Sendiri Longitudinal Stopper**

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot W_c \\
 &= 1.57 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 1.18 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

**c. Berat Korbel Belakang**

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot W_c \\
 &= 1.22 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 0.92 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

**d. Beban Hidup Lalu Lintas**

Panjang bentang jembatan (L)	=	16.8 m
Lebar perkerasan (b)	=	26.3 m
Beban BGT (P BGT)	=	4.9 t/m
Faktor beban dinamis (1 + DLA)	=	1.4
Beban BTR (q BTR)	=	0.9 t/m

**Total Beban BTR**

$$\begin{aligned}
 &= ((5.5 \times q \text{ BTR}) + ((b - 5.5) \times 0.5 \\
 \text{V BTR} &\quad \times q \text{ BTR}) \times L \\
 &= ((5.5 \times 0.9) + ((26.3 - 5.5) \times 0.5 \\
 &\quad \times 0.9) \times 16.8 \\
 &= 81.099 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**Total Beban BGT**

$$\begin{aligned}
 \text{V BGT} &= (5.5 \times (P \text{ BGT} \times (1 + DLA)) + (b - 5.5 \\
 &\quad \times (P \text{ BGT} \times (1 + DLA))) \\
 &= (5.5 \times (4.9 \times 1.4) + (26.3 - 5.5 \times \\
 &\quad (4.9 \times (1.4)))) \\
 &= 26.3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**Total beban hidup lalu lintas :**

$$\begin{aligned}
 \text{V total} &= \text{V BTR} + \text{V BGT} \\
 &= 81.099 + 26.3 \\
 &= 107.399 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{BTR}} &= \frac{V_{\text{BTR}}}{B_y} \\
 &= \frac{81.099}{27.3} \\
 &= 2.97 \text{ ton/m} \\
 q_{\text{BGT}} &= \frac{V_{\text{BGT}}}{B_y} \\
 &= \frac{26.3}{27.3} \\
 &= 0.96 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

**e. Beban  $\frac{1}{2}$  Struktur Atas**

$$\begin{aligned}
 q_{\text{Abt}} &= \frac{V_{\text{Abt}}}{B_y} \\
 &= \frac{869.06}{27.3} \\
 &= 31.83 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

**f. Beban Tekanan Tanah Aktif**

Tinggi timbunan (H)	= 2.506 m
Berat Jenis Tanah ( $\gamma_t$ )	= 1.8 ton/m <sup>2</sup>
Sudut geser tanah ( $\phi$ )	= 30°
Koefisien tanah aktif ( $K_a$ )	= 0.3333333

$$\begin{aligned}
 q &= 0.6 \cdot \gamma_t \\
 &= 0.6 \cdot 1.8 \\
 &= 1.08 \text{ ton/m}^2 \\
 P_{\text{Ta}_1} &= q \cdot K_a \cdot H \\
 &= 1.08 \cdot 0.33 \cdot 2.506 \\
 &= 0.90 \text{ ton} \\
 P_{\text{Ta}_2} &= 0.5 \cdot K_a \cdot \gamma_t \cdot H^2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 0.5 \cdot 0.33 \cdot 1.8 \cdot 6.280 \\
 &= 1.88 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### **g. Beban Gempa**

$$\begin{aligned}
 C_{sm} &= 0.7 \\
 R \text{ bangunan bawah} &= 1 \\
 R \text{ bangunan atas} &= 1.5 \\
 W \frac{1}{2} \text{ bangunan atas} &= 478.26 \text{ ton} \\
 \text{Beban sendiri stopper} &= 1.40 \text{ ton} \\
 \text{Berat Korbel} &= 2.08 \text{ ton} \\
 \text{Beban sendiri dinding} &= 10.50 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Akibat Bangunan Atas :

$$\begin{aligned}
 E_q &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0.7}{1.5} \times 463.88 \\
 &= 405.56 \text{ ton} \\
 q &= \frac{E_q}{B_y} \\
 &= \frac{405.56}{27.3} \\
 &= 14.86 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Akibat Berat Sendiri Dinding Abt :

$$\begin{aligned}
 E_q &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0.7}{1} \times 6.27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4.39} \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{4.39}{27.3} \\
 &= 0.16 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Longitudinal Stopper :

$$\begin{aligned}
 Eq &= \frac{Csm}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0.7}{1} \times 1.1775 \\
 &= 0.82 \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{0.82}{27.3} \\
 &= 0.03 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Beban Gempa Korbel :

$$\begin{aligned}
 Eq &= \frac{Csm}{R} \times Wt \\
 &= \frac{0.7}{1} \times 0.915 \\
 &= 0.64 \text{ ton} \\
 q &= \frac{Eq}{By} \\
 &= \frac{0.64}{27.3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 27.3 \\ & = 0.02 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

#### **h. Beban Tekanan Tanah Aktif Akibat Gempa**

$$\begin{aligned} \text{Tinggi timbunan (H)} &= 2.506 \text{ m} \\ \text{Berat Jenis Tanah } (\gamma_t) &= 1.8 \text{ ton/m}^3 \\ \text{Sudut geser tanah } (\phi) &= 30^\circ \\ \text{Koefisien tanah aktif (K}_a) &= 0.3333333 \\ \text{Koefisien gempa horizontal (K}_h) &= 0.14 \\ \text{Koefisien Tek tanah dinamis (K}_{ae}) &= 0.31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{AE} &= \frac{\gamma_t \times H^2}{2} \cdot (1 - K_v) \cdot K_{AE} \\ &= \frac{1.8 \times 2.506^2}{2} \cdot 1 \cdot 0.31 \\ &= 1.75 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

#### **i. Beban Rem**

$$\begin{aligned} T_b &= 5 \text{ ton} \\ q &= \frac{T_b}{B_y} \\ &= \frac{5}{27.3} = 0.183 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

### 5.1.5.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Dinding Abutment

#### Kombinasi 1 (1,3D + 2L + 2TB + 1,2TEW + 1,25Ta)

Tabel 5. 20 Kombinasi 1 Dinding Abutment

NO	Aksi/Beban	Faktor	Vu	Hx	Lengan	Mx
		Beban	(ton)	(ton)	(m)	(ton.m)
1	Berat Sendiri	1.3	10.86		0.00	0.00
2	Berat korbél	1.3	1.14		0.85	0.97
3	Berat Long Stopper	1.3	1.47		1.60	2.36
4	Tek Tanah Aktif 1	1.3		1.13	0.00	0.00
5	Tek Tanah Aktif 2	1.3		2.36	0.84	1.97
6	Beban Lalu Lintas	2.0	7.87		0.00	0.00
7	Beban Rem	2.0		0.37	2.51	0.92
Total			21.35	3.85		6.21

#### Kombinasi 2 (1,3D + 1Eq + 1Taq)

Tabel 5. 21 Kombinasi 2 Dinding Abutment

NO	Aksi/Beban	Faktor	Vu	Hx	Lengan	Mx
		Beban	(ton)	(ton)	(m)	Ton.m
1	Berat Sendiri	1.30	10.86		0.00	0.00
2	Gempa Bang Atas	1.00		14.86	2.51	37.23
3	Gempa Breast Wall	1.00		0.16	1.25	0.20

4	Gempa Korbel	1.00		0.02	2.06	0.05
5	Gempa Long Stop	1.00		0.03	2.51	0.08
6	Tek Tanah Dinamis	1.00		1.75	1.25	2.20
<i>Total</i>			10.86	16.82		39.75

### 5.1.5.3 Penulangan Dinding Abutment

#### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 1000 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 950 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0.8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 32 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 19 \text{ mm}$
$M_u$	$= 106.97 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0.85$ ( $f_c' < 30 \text{ MPa}$ )	

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{39.75}{0.8} = 49.69 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_b \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0203 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18,824 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{496.86 \times 10^6}{1000 \cdot (950)^2} = 0.55 \text{ ton/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0.55}{400}} \right) \\
 &= 0,0014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0014 < 0,0203 \\
 \text{Maka diambil } \rho &= 0,0014
 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0014 \cdot 950 \cdot 1000 \\
 &= 1324.92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D32

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 32^2 \\
 &= 803.84 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{803.84 \cdot 1000}{1324.92} \\
 &= 606.71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D32 – 600 ( $A_s = 1340 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

$$\begin{aligned} A_s' &= 20\% \cdot A_s \\ &= 20\% \cdot 1324.92 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D19

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283.39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{283.39 \cdot 1000}{265} \\ &= 1069 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D19 – 600 ( $A_s = 472 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_u &= 21 \text{ ton} = 213484 \text{ N} \\ f_c' &= 25 \text{ MPa} \\ f_y &= 240 \text{ MPa} \\ h &= 1000 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ d' &= 50 \text{ mm} \\ d &= 950 \text{ mm} \\ \Phi_v &= 0,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 950 \end{aligned}$$

$$= 791667 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{1000 \cdot 950}{3} \\ &= 316667 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi geser

1.  $V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$   
 $213484 > 296875 \text{ (OK)}$
2.  $0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$   
 $296875 < 213484 < 593750 \text{ (OK)}$
3.  $\phi \times V_c < V_u < \phi (V_c + V_{smin})$   
 $593750 > 213484 < 831250 \text{ (NOT OK)}$
4.  $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c' x b x d})$   
 $831250 > 213484 < 1781250 \text{ (NOT OK)}$
5.  $\phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c' x b x d}) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c' x b x d})$   
 $1781250 > 213484 < 2968750 \text{ (OK)}$

Didapat kondisi 1 dan 5 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser.

Direncanakan tulangan geser berkaki  $\emptyset 12$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 113.04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot A_s \\ &= 2 \cdot 113.04 \\ &= 226.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

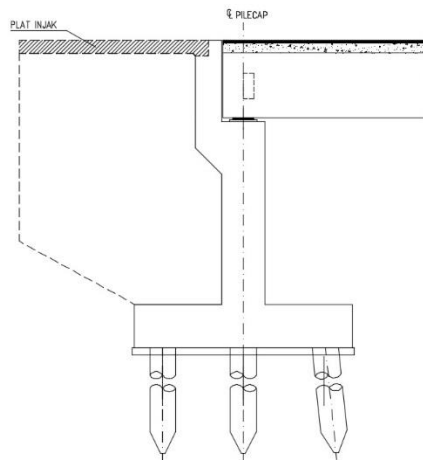


$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226.08 \cdot 240 \cdot 250}{83333.333} \\
 &= 162.78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser 2 kaki  $\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$

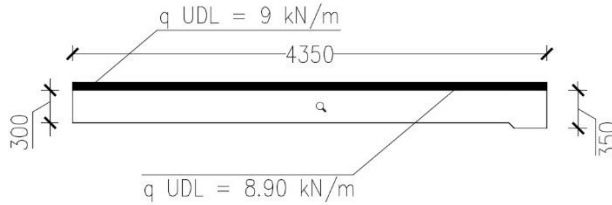
### 5.1.6 Perhitungan Pelat Injak

Plat injak merupakan konstruksi yang menempel pada abutment dengan ditumpu pada satu sisi oleh korbel belakang abutment. Fungsi pelat injak untuk mencegah terjadinya penurunan pada oprit jembatan.



Gambar 5. 20 Pelat Injak

### 5.1.7.1 Analisis Pembebanan Pelat Injak



Gambar 5. 21 Pembebanan pada Pelat Injak

a. Berat Sendiri Plat Injak

$$\begin{aligned} q &= H \cdot L \cdot Wc \\ &= 0.3 \cdot 4.05 \cdot 2.5 \\ &= 3.3 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

b. Berat Aspal + Overlay

$$\begin{aligned} q &= ta \cdot L \cdot Wa \\ &= 0.1 \cdot 4.35 \cdot 2.2 \\ &= 0.957 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

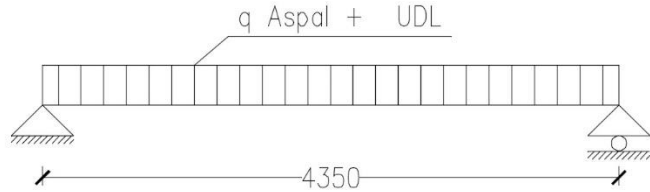
c. Berat Genangan Air Hujan

$$\begin{aligned} q &= th \cdot L \cdot Ww \\ &= 0.02 \cdot 4.35 \cdot 0.98 \\ &= 0.08526 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

d. Beban BTR

$$\begin{aligned} q &= 0.9 \text{ ton/m} \\ q \text{ BTR} &= q \cdot L \\ &= 0.9 \cdot 4.35 \\ &= 3.915 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

### 5.1.6.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Pelat Injak



Gambar 5. 22 Permodelan Momen pada Pelat Injak

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Beban pada Pelat Injak

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Vu	Lengan	Mu
			ton/m	m	ton.m
1	Berat Sendiri	1.30	4.29	4.35	18.66
2	Beban BTR	1.30	5.09	4.35	22.14
3	Beban Aspal	2.00	1.91	4.35	8.33
4	Beban Air Hujan	2.00	0.09	4.35	0.37
	<i>Total</i>		11.38		49.50

Momen yang digunakan  $\frac{49.50}{4.35} = 11.379 \text{ ton/m}$

### 5.1.6.3 Penulangan Pelat Injak

#### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 350 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 300 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 16 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 13 \text{ mm}$
Mu	$= 10.55 \text{ ton}\cdot\text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$

$$(f_c' < 30 \text{ MPa})$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{11.38 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 14.22 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_b \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \\ &= 0.0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.824$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{142.23 \times 10^6}{1000 \cdot (300)^2} = 1.58 \text{ ton/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.824 \cdot 1.58}{400}} \right) \\ &= 0.0041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 &> 0.0041 < 0.0203 \\ \text{Maka diambil } \rho &= 0.0041 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0041 \cdot 1000 \cdot 300 \end{aligned}$$

$$= 1232.98 \text{ mm}^2$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 200.96 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{200.96 \cdot 1000}{1232.98} \\ &= 162.99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 150 ( $A_s = 1675 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

$$\begin{aligned} A_s' &= 20\% \cdot A_s \\ &= 20\% \cdot 1232.98 \\ &= 247 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132.67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

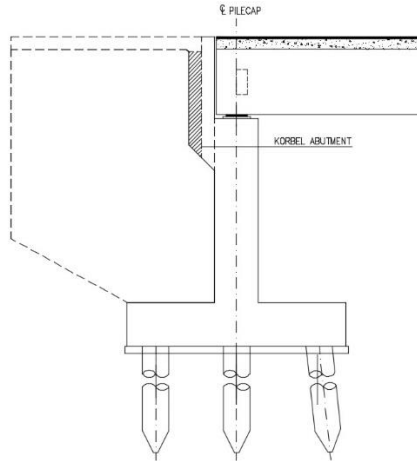
Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{132.67 \cdot 1000}{247} \\ &= 538 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 500 ( $A_s = 265 \text{ mm}^2$ )

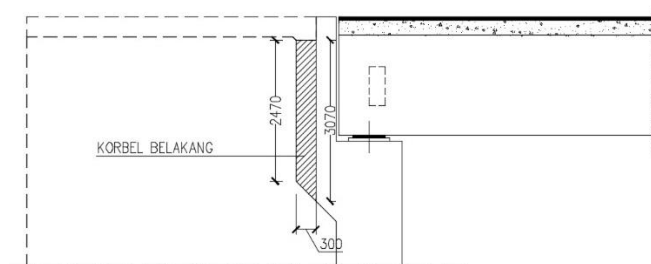
### 5.1.7 Perhitungan Korbel Belakang Abutment

Perhitungan analisis korbel belakang abutment berdasarkan pembebanan dalam keadaan batas ( ultimate ).  
Di bawah ini analisis perencanaan Korbel Belakang.



Gambar 5. 23 Korbel Belakang Abutment

#### 5.1.7.1 Analisis Pembebanan Korbel Belakang Abutment



Gambar 5. 24 Pembebanan pada Korbel Belakang

## a. Berat Sendiri Korbel

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot Wc \\
 &= 1.22 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 0.92 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

## b. Berat Sendiri Plat Injak

$$\begin{aligned}
 q &= H \cdot L \cdot Wc \\
 &= 0.35 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\
 &= 3.3 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

## c. Berat Genangan Air Hujan

$$\begin{aligned}
 q &= th \cdot L \cdot Ww \\
 &= 0.02 \cdot 4.05 \cdot 0.98 \\
 &= 0.08 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

## d. Beban BTR

$$\begin{aligned}
 q &= 0.9 \text{ ton/m} \\
 q \text{ BTR} &= q \cdot L \\
 &= 0.9 \cdot 4.05 \\
 &= 3.645 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

### 5.1.7.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Korbel Belakang Abutment

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Vu (ton/m)	Lengan (m)	Mu ton.m
1	Berat Sendiri Pelat Injak	1.3	0.34	0.225	0.08
2	Beban BTR	1.3	4.74	0.225	1.07
3	Beban Air Hujan	2	0.16	0.225	0.04
4	Berat Sendiri Korbel	1.3	1.19	0.225	0.27
	Total		10.63		1.45

Momen yang digunakan untuk perhitungan  
penulangan = 1.45 ton·m

### 5.1.7.3 Penulangan Korbek Belakang

♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 300 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Selutut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 250 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 25 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 16 \text{ mm}$
Mu	$= 2 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$ ( $f_c' < 30 \text{ MPa}$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{1.45 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 1.81 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_b \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \\ &= 0.0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.824$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{18.08 \times 10^6}{1000 \cdot (250)^2} = 0.29 \text{ ton/mm}^2$$



$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0.29}{400}} \right) \\
 &= 0,0007
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0007 < 0,0203 \\
 \text{Maka diambil } \rho &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 250 \\
 &= 875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D13

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\
 &= 132.665 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{132.665 \cdot 1000}{875} \\
 &= 151.62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D13 – 150 ( $A_s = 884 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 20\% \cdot A_s \\
 &= 20\% \cdot 875 \\
 &= 175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132.665 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{132.665 \cdot 1000}{175} \\ &= 758 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 750  
( $A_s = 177 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_u &= 5 \text{ ton} = 52385 \text{ N} \\ f_c' &= 25 \text{ MPa} \\ f_y &= 240 \text{ MPa} \\ h &= 300 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ d' &= 50 \text{ mm} \\ d &= 250 \text{ mm} \\ \Phi_v &= 0,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 250 \\ &= 208333 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{1000 \cdot 250}{3} \\ &= 83333 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi geser

1.  $V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$   
 $52385 > 78125$  (OK)
2.  $0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$   
 $78125 < 52385 < 156250$  (OK)
3.  $\phi \times V_c < V_u < \phi (V_c + V_{smin})$   
 $156250 > 52385 < 218750$  (NOT OK)
4.  $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $218750 > 52385 < 468750$  (NOT OK)
5.  $\phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $468750 > 52385 < 781250$  (OK)

Didapat kondisi 2 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan geser berkaki  $\emptyset 12$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 113.04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

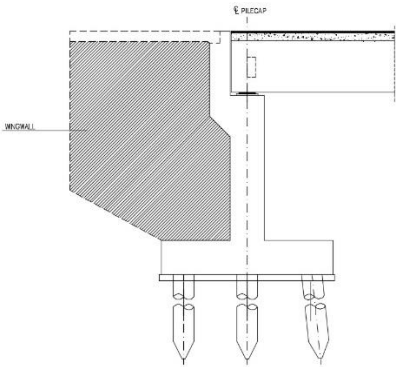
$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot A_s \\ &= 2 \cdot 113.04 \\ &= 226.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{226.08 \cdot 240 \cdot 250}{83333.333} \\ &= 162.78 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser 2 kaki  $\emptyset 12$  – 150 mm

5.1.8 Perhitungan Wing Wall



Gambar 5. 25 Wing Wall

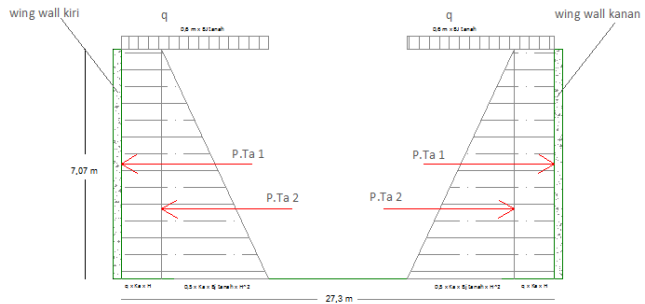
5.1.8.1 Analisis Pembebanan Wing Wall

a. Berat Sendiri Wing Wall

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Beban Sendiri pada Wing Wall

Bidang	b (m)	h (m)	L (m)	BVb (t/m <sup>3</sup> )	berat (ton)	L (m)	Faktor	Mu (t.m)
8	4	0.05	0.3	2.5	0.3	2.03	1.3	0.79
9	2.66	0.80	0.3	2.5	3.2	0.2	1.3	0.83
10	1.39	1.61	0.3	2.5	1.63	0.3	1.3	0.63
11	0.35	1.54	0.3	2.5	1.63	2.66	1.3	5.63
12	0.6	1.01	0.3	2.5	1.63	0.7	1.3	1.47
Total								9.36

b. Beban Tekanan Tanah Aktif



Gambar 5. 26 Pembebanan Wing Wall Akibat Tekanan Tanah Aktif

Tinggi timbunan (H)	=	3.725 m
Berat Jenis Tanah ( $\gamma_t$ )	=	1.8 ton/m <sup>2</sup>
Sudut geser tanah ( $\phi$ )	=	30°
Koefisien tanah aktif ( $K_a$ )	=	0.333

$$\begin{aligned}
 q &= 0.6 \cdot \gamma_t \\
 &= 0.6 \cdot 1.8 \\
 &= 1.08 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Ta1} &= q \cdot K_a \cdot H \\
 &= 1.08 \cdot 0.333 \cdot 3.725 \\
 &= 1.34 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Ta2} &= 0.5 \cdot K_a \cdot \gamma_t \cdot H^2 \\
 &= 0.5 \cdot 0.333 \cdot 1.8 \cdot 13.88 \\
 &= 4.16 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Beban Tekanan Tanah Aktif pada Wing Wall

Beban	Gaya (ton)	L (m)	Faktor Beban	Mu (ton.m)
P Ta <sub>1</sub>	1.34	0.93	1.25	1.56
P Ta <sub>2</sub>	4.16	0.62	1.25	3.23
Total				4.79

Momen yang digunakan untuk perhitungan penulangan wing wall sebesar  $9.36 + 4.79 = 14.15 \text{ ton.m}$

### 5.1.8.2 Penulangan Wing Wall

#### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 300 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 3725 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 250 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 16 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 16 \text{ mm}$
Mu	$= 14.15 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$
$(f_c' < 30 \text{ MPa})$	

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{14.15 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 17.68 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0271 \\
 &= 0,0203 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{176,83 \times 10^6}{3725 \cdot (250)^2} = 0,76 \text{ ton/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,824 \cdot 0,76}{400}} \right) \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0019 < 0,0203 \\
 \text{Maka diambil } \rho &= 0,0019
 \end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0019 \cdot 3725 \cdot 250 \\
 &= 1801,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\
 &= 200,96 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{200,96 \cdot 3725}{1801,13}
 \end{aligned}$$

$$= 415.61 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 400 ( $A_s = 1871.44 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

$$\begin{aligned} A_s' &= 20\% \cdot A_s \\ &= 20\% \cdot 1801.131 \\ &= 360.226 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D16

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 200.96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

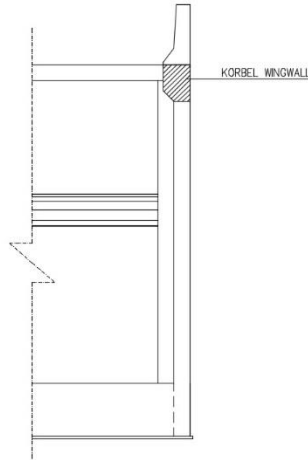
Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{200.96 \cdot 3725}{360.226} \\ &= 2078.07 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D16 – 400 ( $A_s = 1871 \text{ mm}^2$ )



### 5.1.9 Perhitungan Korbel Wing Wall



Gambar 5. 27 Korbel Wing Wall

#### 5.1.9.1 Analisis Pembebanan Korbel Wing Wall

a. Berat Sendiri Korbel Wing Wall

$$\begin{aligned} q &= H \cdot L \cdot W_c \\ &= 2.77 \cdot 0.3 \cdot 2.5 \\ &= 2.08 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

b. Berat Sendiri Plat Injak

$$\begin{aligned} q &= H \cdot L \cdot W_c \\ &= 0.3 \cdot 4.05 \cdot 2.5 \\ &= 3.04 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

c. Berat Genangan Air Hujan

$$\begin{aligned} q &= t_h \cdot L \cdot W_w \\ &= 0.02 \cdot 4.05 \cdot 0.98 \\ &= 0.08 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

### 5.1.9.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Korbel Wing Wall

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Gaya dan Momen pada Korbel Wing Wall

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Vu (ton/m)	Lengan (m)	Mu (ton.m)
1	Berat Sendiri Korbel wingwall	1.30	3.95	0.125	0.49
2	Beban Air Hujan	2.00	0.16	0.125	0.02
3	Berat Sendiri Parapet	1.30	2.70	0.125	0.34
	<i>Total</i>		4.11		0.85

Momen yang digunakan untuk perhitungan penulangan sebesar 0.85 ton.m

### 5.1.9.3 Penulangan Korbel Wing Wall

#### ♦ Tulangan Lentur

Mutu Beton	$f_c' = 25 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Tinggi yang ditinjau	$h = 300 \text{ mm}$
Lebar yang ditinjau	$b = 1000 \text{ mm}$
Selimut Beton	$d' = 50 \text{ mm}$
Tebal Efektif	$d = 250 \text{ mm}$
Faktor Reduksi Lentur	$\Phi = 0,8$
Diameter Tulangan Utama	$D = 25 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Bagi	$D = 16 \text{ mm}$
Mu	$= 0.85 \text{ ton} \cdot \text{m}$
Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$	$= 0.85$
$(f_c' < 30 \text{ MPa})$	

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{0.85 \text{ ton} \cdot \text{m}}{0.8} = 1.06 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_b \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \\ &= 0.0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.824$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{10.64 \times 10^6}{1000 \cdot (250)^2} = 0.17 \text{ ton/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.824} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.824 \cdot 0.17}{400}} \right) \\ &= 0.0004\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 &> 0.0004 < 0.0203 \\ \text{Maka diambil } \rho &= 0.0035\end{aligned}$$

Luas tulangan utama yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0035 \cdot 1000 \cdot 250 \\ &= 875 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Utama D16

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\
 &= 200.96 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{200.96 \cdot 1000}{875} \\
 &= 229.67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan utama D16 – 200 ( $A_s = 1005 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Bagi

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 20\% \cdot A_s \\
 &= 20\% \cdot 875 \\
 &= 175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Bagi D13

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\
 &= 132.665 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan bagi

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \text{ pasang} \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{132.665 \cdot 1000}{175} \\
 &= 758 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan bagi D13 – 750 ( $A_s = 177 \text{ mm}^2$ )

♦ Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 4 \text{ ton} = 41075 \text{ N} \\
 f_c' &= 25 \text{ MPa} \\
 f_y &= 240 \text{ MPa} \\
 h &= 300 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 d' &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$\Phi_v = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 950 \\ &= 208333 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{b_w \cdot d}{3} \\ &= \frac{1000 \cdot 250}{3} \\ &= 83333 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi geser

1.  $V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$   
 $41075.1 > 78125 \text{ (NOT OK)}$
2.  $0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$   
 $78125 < 41075.1 < 156250 \text{ (OK)}$
3.  $\phi \times V_c < V_u < \phi (V_c + V_{smin})$   
 $156250 > 41075.1 < 218750 \text{ (NOT OK)}$
4.  $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $218750 > 41075.1 < 468750 \text{ (NOT OK)}$
5.  $\phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d) < V_u < \phi (V_c + 1/3 \sqrt{f_c'} b x d)$   
 $468750 > 41075.1 < 781250 \text{ (NOT OK)}$

Didapat kondisi 2 memenuhi syarat maka perlu tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan geser berkaki Ø12

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\
 &= 113.04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot A_s \\
 &= 2 \cdot 113.04 \\
 &= 226.08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{226.08 \cdot 240 \cdot 250}{83333.333} \\
 &= 162.78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser Ø12 – 150 mm

## **BAB VI**

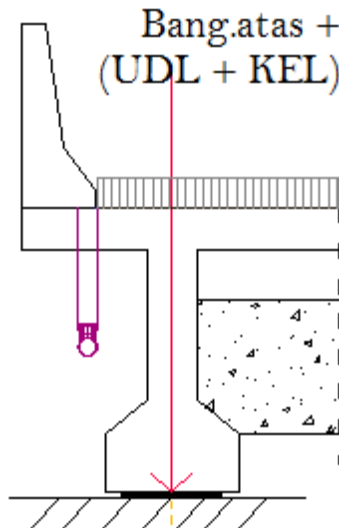
### **PERLETAKAN JEMBATAN**

#### **6.1 Preliminary Design Perletakan**

Perletakan yang direncanakan menggunakan perletakan elastomer laminasi, dengan menggunakan karet IHRD dengan kekerasan  $53 \pm 5$ , mempunyai sisi elastomer minimum sebesar 6 mm, atas dan bawah sebesar 4 mm. (Mengacu pada BMS BDM 1992 pasal 7.2.1)

#### **6.2 Menentukan Beban dan Gerakan Terburuk**

- Beban tegak lurus pada tumpuan  
Untuk beban tegak lurus diambil gaya paling kritis yaitu pada girder tepi yang menumpu pelat kantilever dan parapet.



Gambar 6. 1 Beban Tegak Lurus Pada Perletakan

Tabel 6. 1 Rekapitulasi Beban Vertikal pada Perletakan

NO	Uraian	V Abt (Ton)
1	1/2 Pelat lantai kendaraan (2.01 m)	10.14
2	1/2 beban lapisan aspal (2.01)	2.72
3	1/2 Genangan air hujan (2.01 m)	0.35
4	1/2 Beban parapet (2.01 m)	7.66
5	1/2 Berat sendiri girder	15.75
6	Beban diafragma	1.64
7	1/2 Beban hidup lalu lintas	53.7
<b>Total</b>		<b>91.96</b>

- Beban horizontal terhadap perletakan

1. Gaya Rem

$$\begin{aligned} T_{\text{rem}} &= 5 \text{ ton} : 8 \\ &= 0,63 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Beban gempa akibat bangunan atas

$$\begin{aligned} T_{\text{Eq}} &= 418,4784 \text{ ton} : 8 \\ &= 52,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

3. Beban Angin

$$\begin{aligned} T_{\text{Ew}} &= 40,95 \text{ ton} : 8 \\ &= 5,12 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 6. 2 Rekapitulasi Beban Horizontal

No	Beban Horizontal	Gaya (ton)
1	Gaya Rem	0,63
2	Beban Gempa	52,31
3	Beban Angin	5,12
<b><math>\Sigma</math> H Elastomer</b>		<b>58,06</b>



### 6.3 Perencanaan Dimensi Elastomer

Penentuan dimensi rencana elastomer sesuai dengan BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.4 (g)

Tabel 6. 3 Tabel Spesifikasi Elastomer

Ukuran denah 480 mm x 380 mm									
Tebal pelat baja 5		Tebal selimut sisi 10				Tebal selimut atas dan bawah 6			
Jumlah lapis karet dalam	Tinggi keseluruhan	Kekakuan tekan terhitung pada geser nol	Kekakuan geser rata-rata	Kekakuan perputaran terhitung	Kapasitas lendutan geser	Beban ternilai pada perputaran nol		Beban ternilai pada perputaran maksimum	
	mm	$10^3$ kN/m	$10^3$ kN/m	kNm/rad	mm	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN
<b>Tebal karet dalam 9</b>									
4	73	1358	2.62	5371	33.6	2484	2484	1166	1562
6	101	1005	1.91	3967	42.5	2484	2484	1192	1578
8	129	798	1.50	3145	48.2	2484	2484	1223	1588
10	157	661	1.23	2605	51.3	2484	2484	1255	1594
<b>Tebal karet dalam 12</b>									
3	68	976	2.62	3620	33.6	2133	2484	1004	1353
5	102	641	1.75	2358	44.6	2129	2484	1012	1341
7	136	477	1.31	1748	50.6	2066	2404	1036	1335
10	187	344	0.95	1260	66.0	1428	1748	1018	1331
<b>Tebal karet dalam 15</b>									
3	77	593	2.21	2113	38.7	1702	2434	857	1157
5	117	376	1.45	1329	48.9	1726	2122	869	1136
7	157	275	1.08	969	58.5	1321	1578	868	1126
9	197	217	0.86	763	72.0	1005	1256	848	1120

Sesuai dengan tabel di atas, perencanaan dimensi elastomer menyesuaikan dengan jenis - jenis elastomer pada BMS BDM, maka direncanakan perletakan elastomer dengan dimensi 480 x 380 x 187.

Tabel 6. 4 Dimensi Perletakan Elastomer

Jumlah lapis karet dalam	Tebal karet dalam	Tinggi keseluruhan	Tebal selimut sisi	Tebal selimut atas & bawah	Tebal pelat baja	IHRD
(n)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
10	12	187	10	6	5	53

Tabel 6. 5 Data dan Spesifikasi Elastomer

No	Deskripsi Besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kekerasan karet	IHRD	53	
2	Modulus geser	G	0.69	Mpa
3	Modulus total	B	2000	MPa
4	Panjang elastomer	a	480	mm
5	Lebar elastomer	b	380	mm
6	Tebal selimut	tc	10	mm
7	Tebal lapis dalam	ti	155	mm
8	Tebal lapis efektif dalam	te	14	mm
9	Tebal lapis efektif selimut	te	155	mm
10	Tebal pelat baja	ts	5	mm
11	Tebal total elastomer	t	187	mm
12	Luas denah total karet	At	182400	mm <sup>2</sup>

#### 6.4 Kontrol Perlet akan Elastomer

Sesuai dengan BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.6, terdapat 9 tahap pemeriksaan pada perletakan elastomer.

##### 1. Pemeriksaan Tahap 1 (Pemeriksaan terhadap luas efektif minimum)

Data pemeriksaan tahap 1 :

$\delta a$  = gerakan tangensial arah dimensi memanjang (a)

$\delta b$  = gerakan tangensial arah dimensi melintang (b)

H = gaya horizontal pada perletakan (kN)

A eff = Luas efektif minimum

Menghitung gerakan tangensial :

$$\delta a = \delta b \text{ (perletakan persegi)} = \frac{H \cdot t}{1000 \cdot At \cdot G}$$

$$\delta a = \delta b = \frac{580600 \text{ N} \cdot 187 \text{ mm}}{1000 \cdot 182400 \text{ mm}^2 \cdot 0,69 \text{ MPa}}$$

$$\delta a = \delta b = 0,86$$

Menghitung gerakan tangensial :

$$A_{\text{eff}} = A_t \cdot \left(1 - \frac{\delta a}{a} - \frac{\delta b}{b}\right)$$

$$A_{\text{eff}} = 182400 \text{ mm}^2 \cdot \left(1 - \frac{0,86}{480} - \frac{0,86}{380}\right)$$

$$A_{\text{eff}} = 181660,40$$

Kontrol tahap 1 :

$$\frac{A_{\text{eff}}}{0,8 A_t} \geq 1,0$$

$$\frac{181660,40}{0,8 \cdot 182400} \geq 1,0$$

$$1,24 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

Kontrol faktor bentuk :  $4 \leq S \leq 12$

$$S = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b) \cdot 14} \geq 1,0$$

$$S = \frac{480 \text{ mm} \cdot 380 \text{ mm}}{2 \cdot (860 \text{ mm}) \cdot 14} \geq 1,0$$

$$S = 7,57 \text{ mm (OK)}$$

## 2. Pemeriksaan Tahap 2 (Pemeriksaan terhadap regangan total maksimum)

$\alpha a = \alpha b$  = perputaran relatif dari permukaan atas dan bawah perletakan.

$$\alpha a = \alpha b = 0,035 \text{ radian}$$

$$\epsilon_{SR} = \frac{\alpha a \cdot a^2 \cdot \alpha b \cdot b^2}{2 \cdot 155 \cdot 187}$$

$$\epsilon_{SR} = \frac{0,035 \cdot 480^2 + 0,035 \cdot 380^2}{2 \cdot 155 \cdot 187}$$

$$\epsilon_{SR} = 0,23$$

$$\epsilon_{SC} = \frac{6 \cdot SV}{3 \cdot A_{\text{eff}} \cdot G \cdot (1 + 2S^2)}$$

$$\epsilon_{SC} = \frac{6 \cdot 7,57 \cdot 919600 \text{ N}}{3 \cdot 181660,40 \cdot 0,69 \cdot (1 + 2 \cdot 7,57^2)}$$

$$\varepsilon_{sc} = 0,96$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\delta_s}{t}$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{2,32}{187}$$

$$\varepsilon_{sh} = 0,012$$

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{sr} + \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$$

$$\varepsilon_T = 0,23 + 0,96 + 0,012$$

$$\varepsilon_T = 1,20$$

### 3. Pemeriksaan Tahap 3 (Pemeriksaan terhadap regangan maksimum)

Untuk nilai  $A_{eff} > 0,9 A$ , maka diambil data pemeriksaan sebagai berikut :

$$\varepsilon_{sh \text{ maks}} = 0,7$$

$$\varepsilon_{sh} = 0,012$$

Kontrol :

$$\frac{\varepsilon_{sh \text{ maks}}}{\varepsilon_{sh}} > 1,0$$

$$\frac{0,7}{0,012} > 1,0$$

$$58,33 > 1,0 \text{ (OK)}$$

### 4. Pemeriksaan Tahap 4 (Pemeriksaan terhadap batas leleh)

Data perhitungan :

$$V = 91,96 \text{ ton}$$

$$V_{LL} = 53,70 \text{ ton}$$

Kontrol :

$$\frac{1,4 \cdot V}{\varepsilon_{sc} \cdot V_{LL}} \times \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1,0$$

$$\frac{1,4 \cdot 919,6 \text{ kN}}{0,96 \cdot 537 \text{ kN}} \times \sqrt{\frac{0,69}{0,69}} \geq 1,0$$

$$2,5 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

**5. Pemeriksaan Tahap 5 (Pemeriksaan terhadap tegangan maksimum rata - rata)**

Kontrol :

$$\frac{15 \times At}{V} \geq 1,0$$

$$\frac{15 \times 182400}{919600} \geq 1,0$$

$$2,98 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

**6. Pemeriksaan Tahap 6 (Pemeriksaan terhadap perputaran maksimum)**

$$EH = A \times G \times 1 - \frac{1}{\frac{a}{b} + \frac{b}{a}}$$

$$EH = 125856 \times 0,69 \times 1 - \frac{1}{1,263 + 0,792}$$

$$EH = 44582,42$$

$$C = 4 + \frac{a}{b} \times 6 \frac{3,3 a}{b}$$

$$C = 4 + \frac{480}{380} \times 6 \frac{1584}{380}$$

$$C = 35,59$$

$$E = EH + \frac{C \times G \times S^2}{1 + \frac{C \times G \times S^2}{0,75 b}}$$

$$E = 44582,42 + \frac{35,59 \times 0,69 \times 7,57^2}{1 + \frac{35,59 \times 0,69 \times 7,57^2}{285}}$$

$$E = 44819,42$$

$$dc = te \times \frac{V}{E \times A}$$

$$dc = 155 \times \frac{919600 \text{ N}}{44819,42 \times 182400}$$

$$dc = 0,017$$

Kontrol :

$$\frac{\alpha a \times a \times \alpha b \times b}{\frac{4 \times dc}{0,035 \times 480 \times 0,035 \times 380}} \geq 1,0$$

$$\frac{4 \times 0,02}{2793} \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

### 7. Pemeriksaan Tahap 7 (Pemeriksaan terhadap stabilitas tekan)

Kontrol :

$$\frac{2 \cdot b \cdot G \cdot S \cdot A \text{ eff}}{V} \geq 1,0$$

$$\frac{2 \cdot 380 \cdot 0,69 \cdot 7,57 \cdot 181660,40}{919600 \text{ N}} \geq 1,0$$

$$784,19 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

### 8. Pemeriksaan Tahap 8 (Pemeriksaan tebal baja minimum)

ts (tebal pelat baja) = 5,0 mm

Kontrol :

$$\frac{ts}{3} \geq 1,0$$

$$\frac{5,0}{3} \geq 1,0$$

$$1,67 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

$$\frac{ts \cdot A \cdot fsy}{3000 \cdot V \cdot ti} \geq 1,0$$

$$\frac{5 \cdot 182400 \cdot 950}{3000 \cdot 919,6 \cdot 155} \geq 1,0$$

$$2,03 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

### 9. Pemeriksaan Tahap 9 (Pemeriksaan tahanan gesek terhadap geseran)

Kontrol :

$$\frac{0,1 \cdot V + (3000 \cdot A \text{ eff})}{H} \geq 1,0$$

$$\frac{0,1 \cdot 919600 \text{ N} + (3000 \cdot 181548,60 \text{ mm}^2)}{580600 \text{ N}} \geq 1,0$$

$$170306032,7 \geq 1,0 \text{ (OK)}$$

## **BAB VII PENUTUP**

### **7.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data dan kondisi eksisting Jembatan Klenteng, maka pada modifikasi desain struktur Jembatan Klenteng pada ruas jalan tol Solo – Ngawi dapat disimpulkan bebrapa poin sebagai berikut :

1. Pengaman pada tepi jembatan tetap menggunakan parapet tinggi 1,2 m, lebar atas 0,25 m, dan lebar bawah 0,5 m. Tulangan utama menggunakan D13 – 120 m, dan tulangan bagi 18 Ø8.
2. Pelat lantai jembatan didesain dengan tebal 230 mm dengan tulangan utama menggunakan D16 – 150 mm pada tulangan tumpuan dan D16 – 150 mm pada tulangan lapangan. Sedangkan tulangan bagi dipasang D13 – 150 mm. Pelat kantilever dipasang tulangan lentur D16 – 300 untuk tulangan lapangan dan D16 – 150 pada tulangan tumpuan. Sedangkan tulangan bagi dipasang D13 – 150.
3. Balok girder Jembatan Klenteng pada kondisi eksisting menggunakan balok girder I *precast* dengan tinggi girder. Pada modifikasi didesain Jembatan Klenteng balok girder precast diganti dengan menggunakan balok girder konvensional mutu  $f_c' 25$  Mpa tipe balok - T dengan dimensi 1200 mm x 800 mm dan jarak antar balok girder 1,75 m sejumlah 8 buah dengan tulangan lentur D32 dan tulangan bagi D32 pula. Jarak tulangan berbeda beda tergantung dari segmen yang ditinjau.
4. Pada Jembatan Klenteng, diafragma menggunakan beton konvensional dengan dimensi 500 mm x 300 mm dan jarak antar diafragma 1250 mm dengan jumlah diafragma sebanyak 7 buah. Dengan tulangan lentur 2D32 dan tulangan gesernya Ø12-500.
5. Abutment pada Jembatan Klenteng memiliki total tinggi 5,07 m dengan lebar 27,3 m. Terbagi atas beberapa bagian

struktur abutment meliputi : pile cap, long stopper, breast wall, dan korbel. Pada pile cap dipasang tulangan lentur D22 – 100 mm, tulangan bagi D16 – 300 mm, tulangan tekan D22 – 180 mm, dan tulangan geser Ø12 – 600 mm. Pada long stopper digunakan tulangan lentur D25 – 200 mm, dan tulangan bagi D16 – 500 mm. Pada breast wall digunakan tulangan lentur D32 – 600 mm, tulangan bagi D19 – 600 mm, dan tulangan geser 2 kaki Ø12 – 150 mm. Sedangkan pada korbel digunakan tulangan lentur D13 – 150 mm, tulangan bagi D13 – 750 mm, dan tulangan geser 2 kaki Ø12 – 150 mm.

6. Abutment memiliki bangunan pelengkap wing wall dengan tulangan utama D16 – 400 mm dan tulangan bagi D16 – 600 mm. Sedangkan pelat injak dengan tebal 300 mm menggunakan tulangan lentur D16 – 150 mm dan tulangan bagi D13 – 500 mm.
7. Perletakan jembatan menggunakan bearing pad dengan tinggi 50 mm, panjang 450 mm dan lebar 480 mm. Serta tebal lapisan 12 mm berjumlah 4 lapis dan untuk cover menggunakan tebal 1 mm berjumlah 2 lapis.
8. Tiang pancang yang digunakan untuk pile cap abutment sebanyak 2 x 15 buah dengan diameter 600 mm.

## 7.2 Saran

Pada Modifikasi Desain Struktur Jembatan Klenteng pada Ruas Jalan Tol Solo – Ngawi STA 46 +146 dengan Menggunakan Balok Konvensional terdapat beberapa saran dari penulis, meliputi :

1. Untuk overlay lapis permukaan aspal jembatan Klenteng disarankan untuk melakukan pembongkaran lapis permukaan yang lama dan mengganti dengan lapis baru dengan ketebalan total maksimum 10 cm.
2. Sebaiknya mempertimbangkan formasi dimensi dan kuantitas tiang pancang untuk pondasi.



3. Sebaiknya mempertimbangkan dimensi abutment.
4. Perlu adanya penambahan aspal untuk menghindari keausan lapis perkerasan pada pelat lantai jembatan.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *RSNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan)*
2. Badan Standarisasi Nasional (BSN), *RSNI T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)*
3. Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2013, *SNI 03-2833-2013 (Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)*
4. Badan Standarisai Nsional (BSN), 2015, *Pedoman Perencanaan Bantalan Elastomer Untuk Perletakan Jembatan*
5. Ir. Suryono Sosrodarsono, 2000. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*
6. Indrasurya B.Mochtar, 1995. *Mekanika Tanah Braja M. Das jilid 1*

## LAMPIRAN

### SPESIFIKASI SPUN PILE

Spun Pile Classification								
Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending crack (ton.m)	Moment ultimate (ton.m)	Allowed Axial Load (ton)
300	60	A2	0.452	113	6-13	2.5	3.8	72.6
		A3				3.0	4.5	70.8
		B				3.5	6.3	67.5
		C				4.0	8.0	65.4
350	65	A1	0.582	145	6-15	3.5	5.3	93.1
		A3				4.2	6.3	89.5
		B				5.0	9.0	86.4
		C				6.0	12.0	85.0
400	75	A2	0.766	191	6-16	5.5	8.3	121.1
		A3				6.5	9.8	117.6
		B				7.5	13.5	114.4
		C				9.0	18.0	111.5
450	80	A1	0.930	232	6-16	7.5	11.3	149.5
		A2				8.5	12.8	145.8
		A3				10.0	15.0	143.8
		B				11.0	19.8	139.1
500	90	C	1.159	290	6-16	12.5	25.0	134.9
		A1				10.5	15.8	185.3
		A2				12.5	18.8	181.7
		A3				14.0	21.0	178.2
600	100	B	1.571	393	6-16	15.0	27.0	174.9
		C				17.0	34.0	169.0
		A1				17.0	25.5	252.7
		A2				19.0	28.5	249.0
800	120	A3	2.564	641	6-18	22.0	33.0	243.2
		B				25.0	45.0	238.3
		C				29.0	58.0	229.5
		A1				40.0	60.0	409.5
1000	140	A2	3.782	946	6-20	46.0	69.0	405.5
		A3				51.0	76.5	397.4
		B				55.0	99.0	380.8
		C				65.0	117.0	364.5
1200	150	A1	4.948	1236	6-24	75.0	112.5	605.5
		A2				84.0	126.0	602.7
		A3				97.0	145.5	586.7
		B				105.0	189.0	564.9
		C				120.0	216.0	549.2
		A1				120.0	180.0	794.7
		A2				139.0	208.5	777.8
		A3				150.0	225.0	766.7
		B				170.0	306.0	730.1
		C				200.0	360.0	708.2

## **BIODATA PENULIS**

### **Ardine Waida Apri Ariadne**



Penulis dilahirkan di Pamekasan, 19 April 1996. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di RA TK Al-Munawwarah Pamekasan, SDN Lawangan Daya II Pamekasan, SMPN 1 Pamekasan, SMAN 1 Pamekasan. Setelah lulus dari SMAN 1 Pamekasan tahun 2014, penulis mengikuti seleksi tes masuk program DIII yang diselenggarakan oleh ITS dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi tahun 2014 dan terdaftar dalam NRP 3114030080. Di departemen Teknik Infrastruktur Sipil, penulis mengambil konsentrasi di bidang bangunan transportasi. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar maupun pelatihan yang diselenggarakan oleh Departemen dan Fakultas. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai organisasi serta kepanitiaan yang diselenggarakan di Departemen.

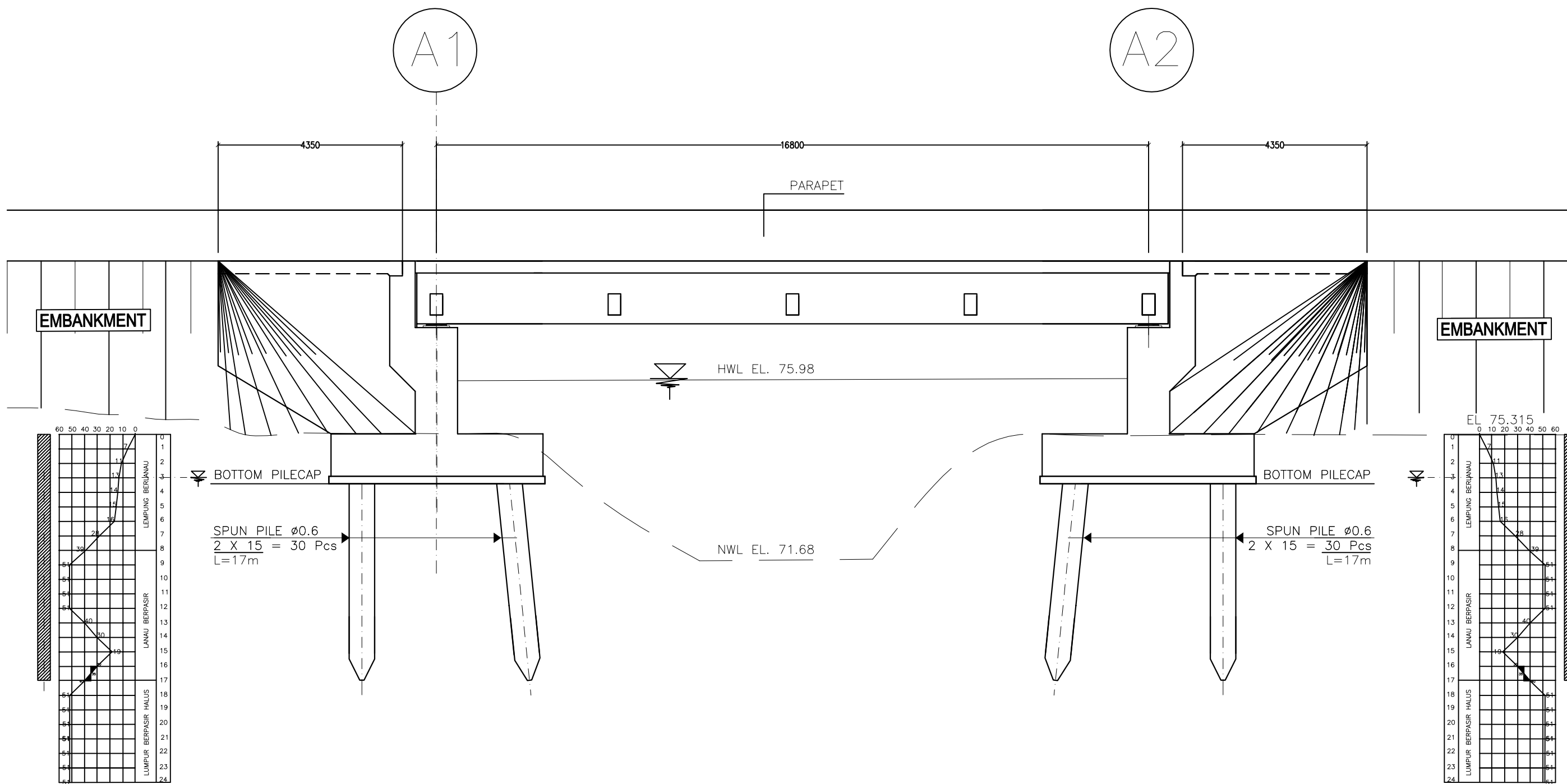
## **BIODATA PENULIS**

### **Dwi Haryanto**

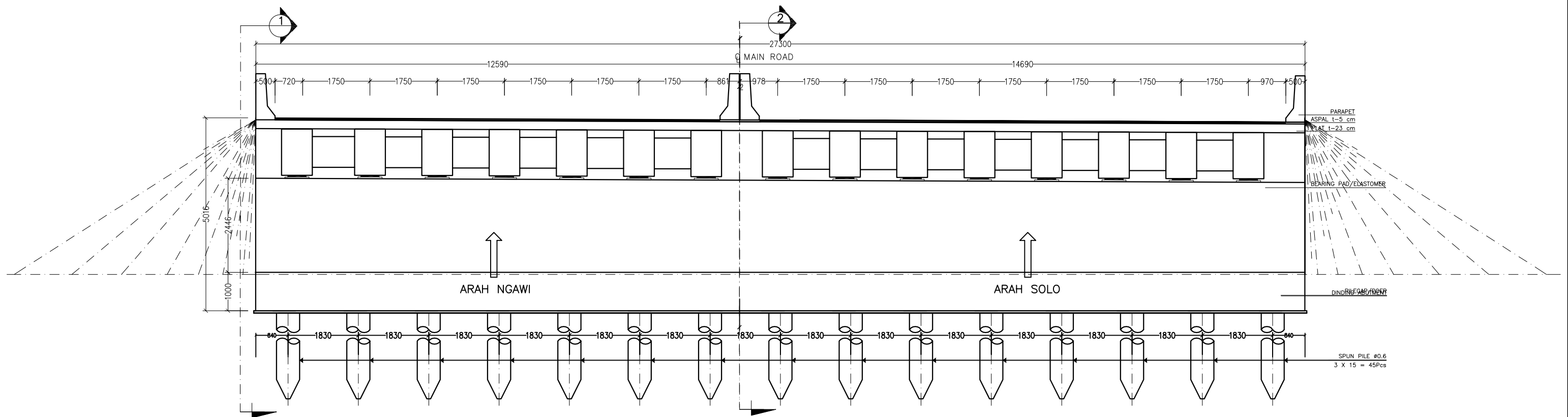


Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 5 September 1996. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita II Surabaya, SDN Warugunung II Surabaya, SMPN 24 Surabaya, SMKN 3 Surabaya. Setelah lulus dari SMKN 3 Surabaya tahun 2014, penulis mengikuti seleksi tes masuk program DIII yang diselenggarakan oleh ITS dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi tahun 2014 dan terdaftar dalam NRP

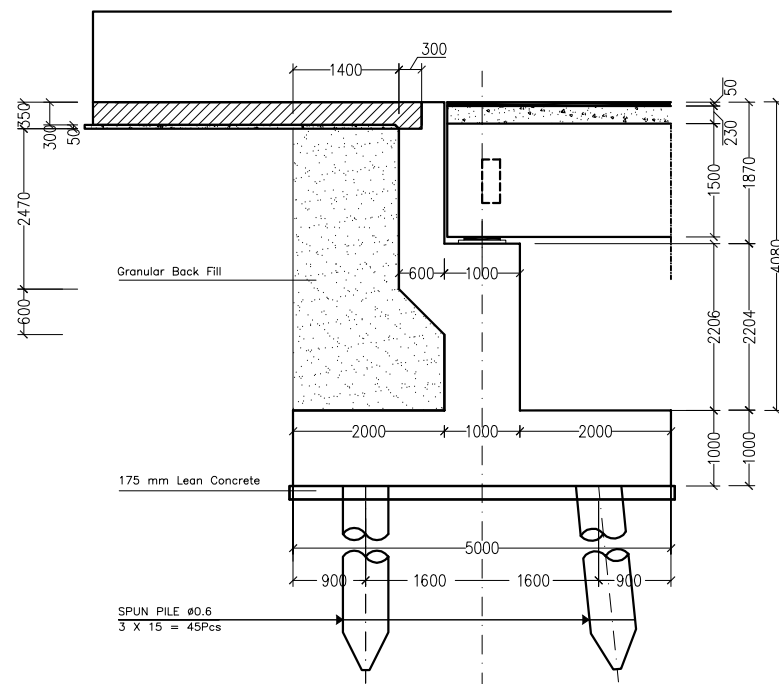
3114030120. Di departemen Teknik Infrastruktur Sipil, penulis mengambil konsentrasi di bidang bangunan transportasi. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Departemen dan Fakultas. Selain itu penulis juga aktif dalam Himpuna Kemahasiswaan dalam dua periode serta kepanitiaan yang diselenggarakan di Departemen, Fakultas juga Institut.



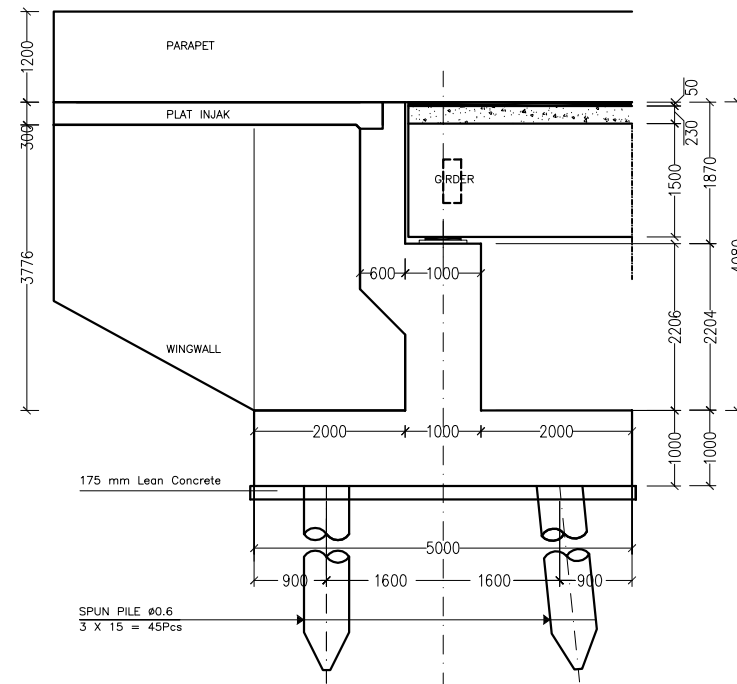

**RENCANA EKSISTING JEMBATAN KLENTENG**  
 SKALA 1:50



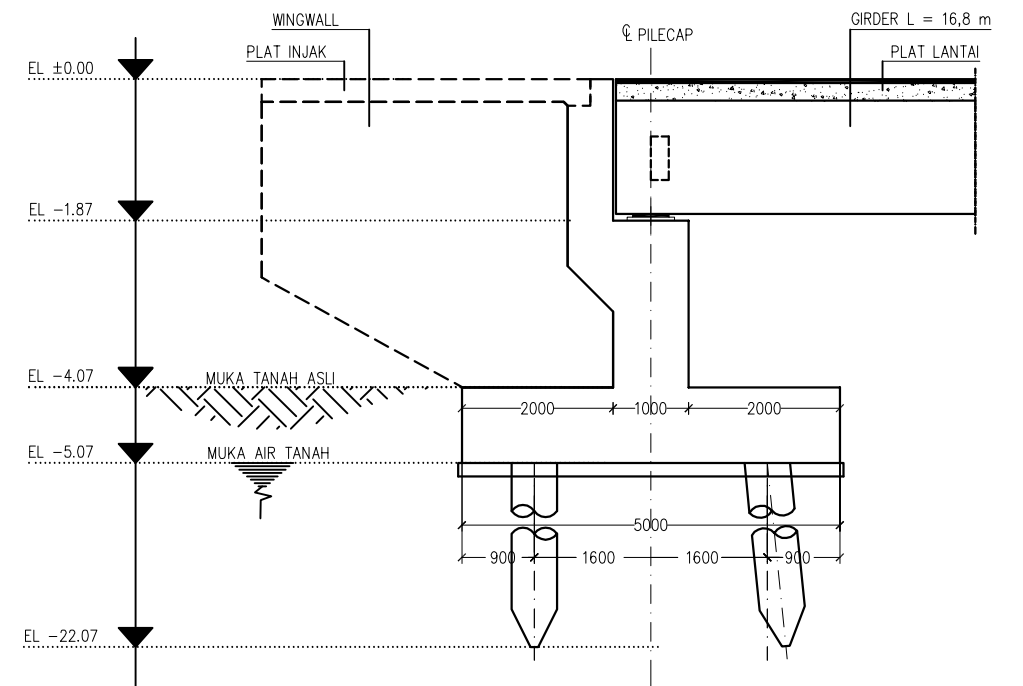
**TAMPAK DEPAN ABUTMENT**  
SKALA 1 : 100



**POTONGAN 1**  
SKALA 1 : 100

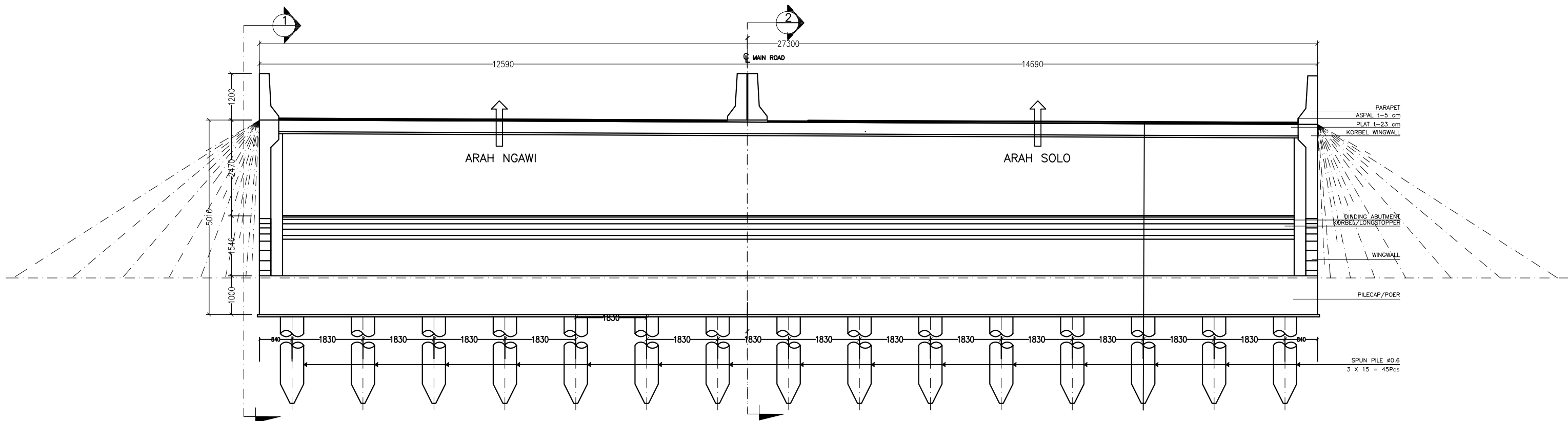


**POTONGAN 2**  
SKALA 1 : 100

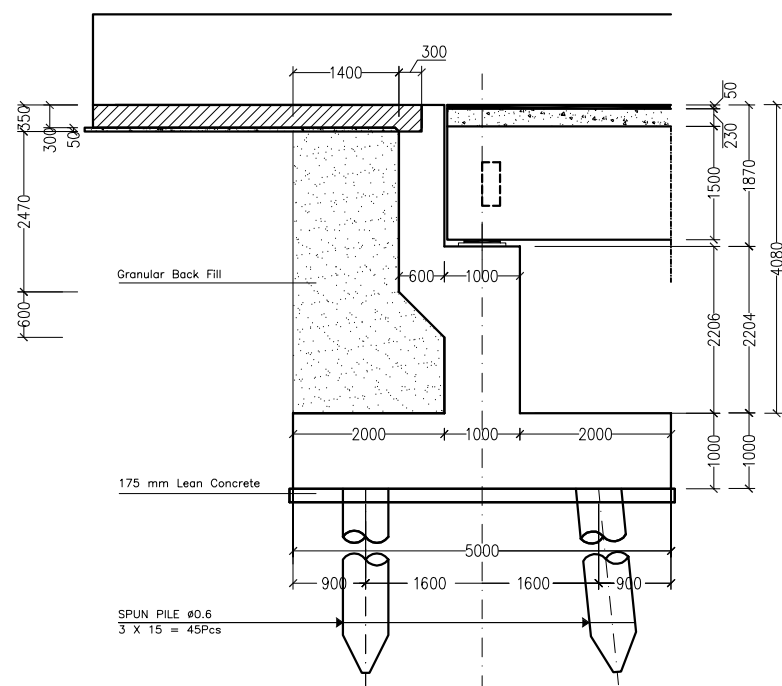


**ELEVASI ABUTMENT**  
SKALA 1 : 100

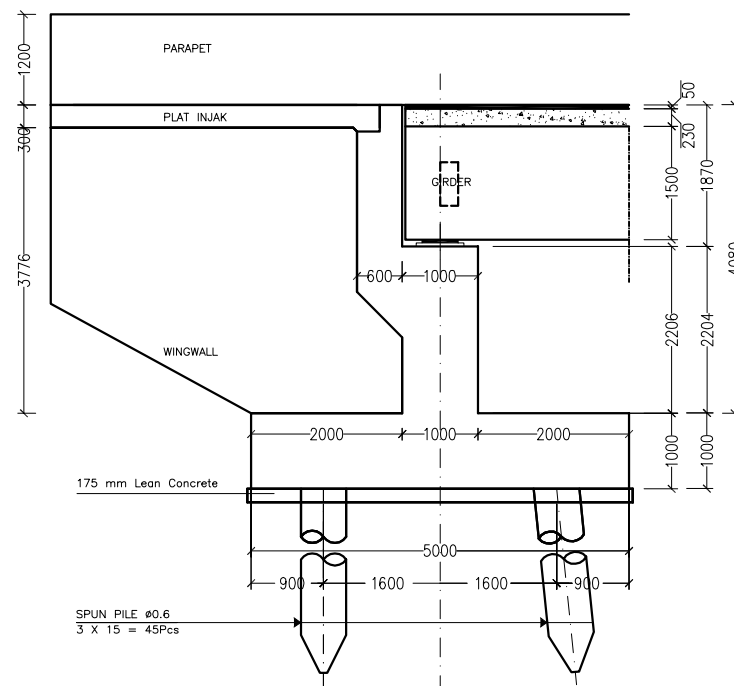




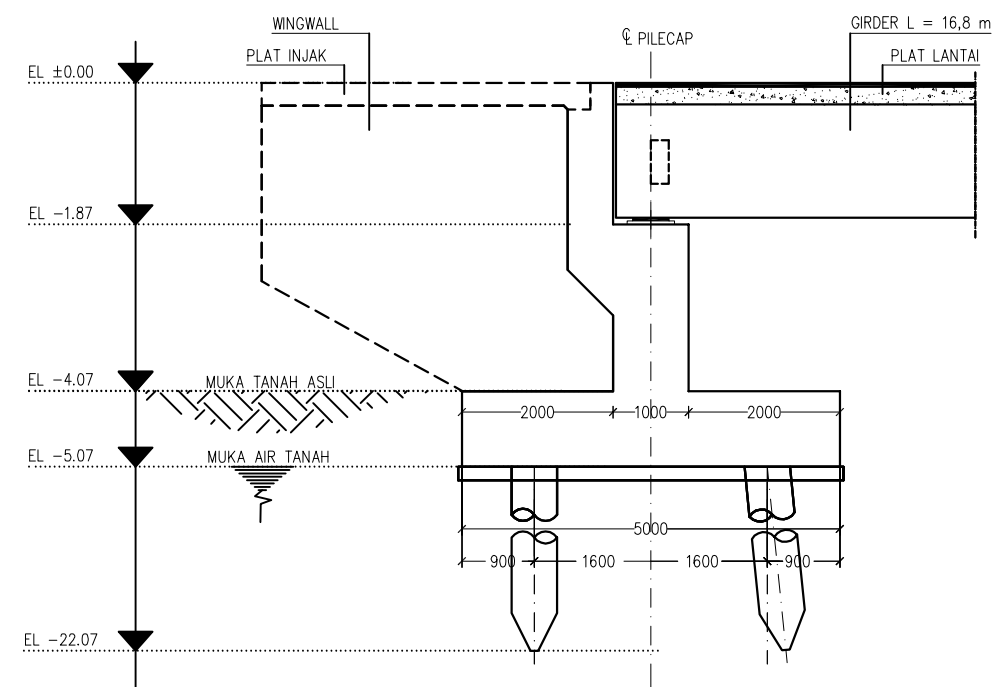
**TAMPAK BELAKANG ABUTMENT**  
SKALA 1 : 100



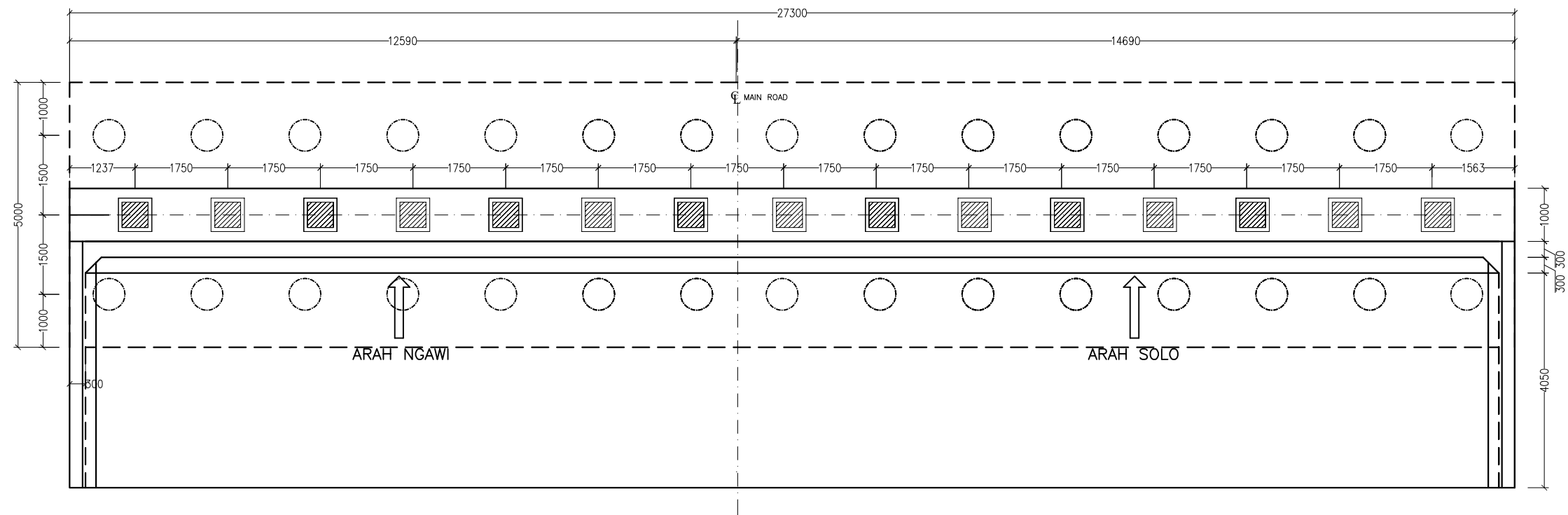
**POTONGAN 1**  
SKALA 1 : 100



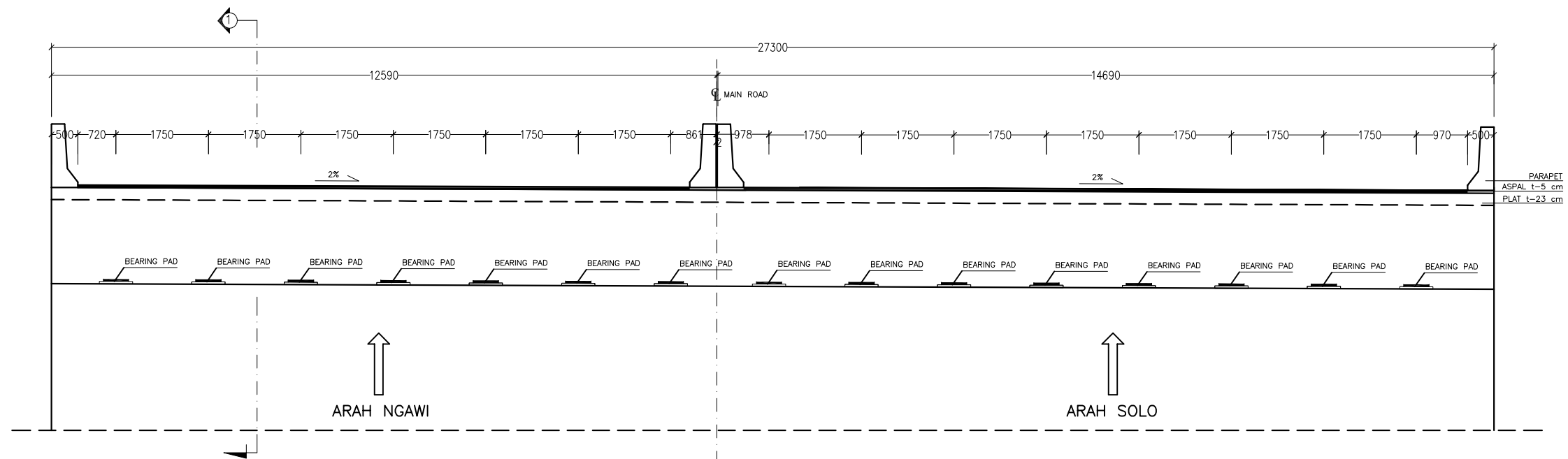
**POTONGAN 2**  
SKALA 1 : 100



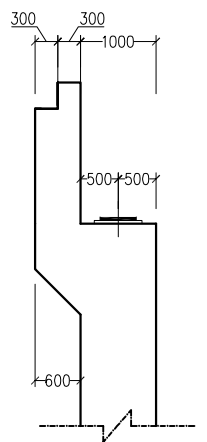
**ELEVASI ABUTMENT**  
SKALA 1 : 100

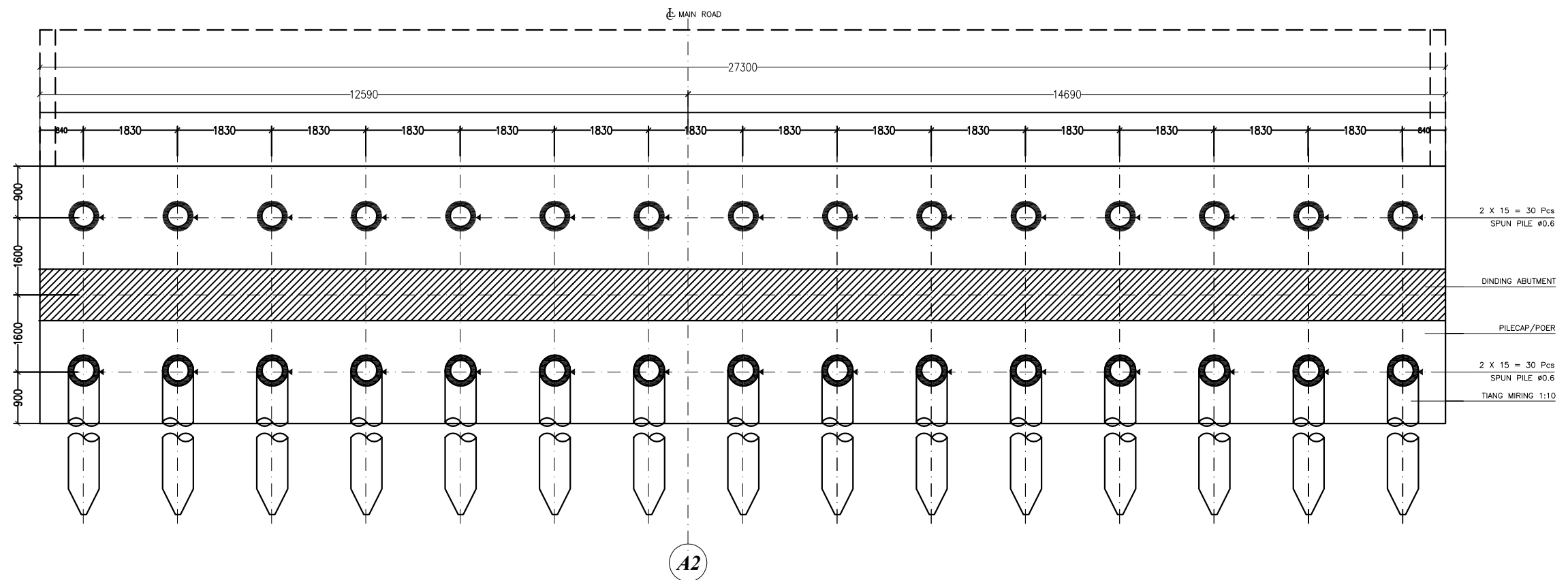


**TAMPAK ATAS ABUTMENT**  
SKALA 1 : 100

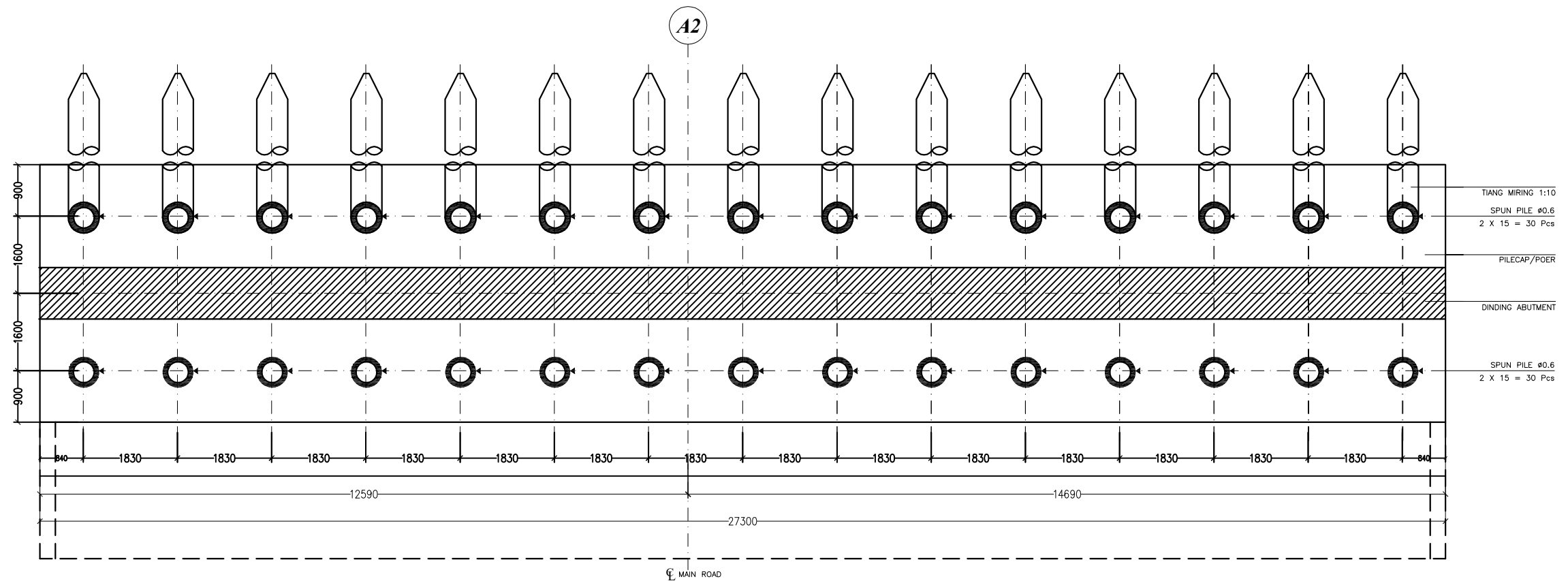


**TAMPAK DEPAN ABUTMENT (BEARING PAD)**  
SKALA 1 : 100

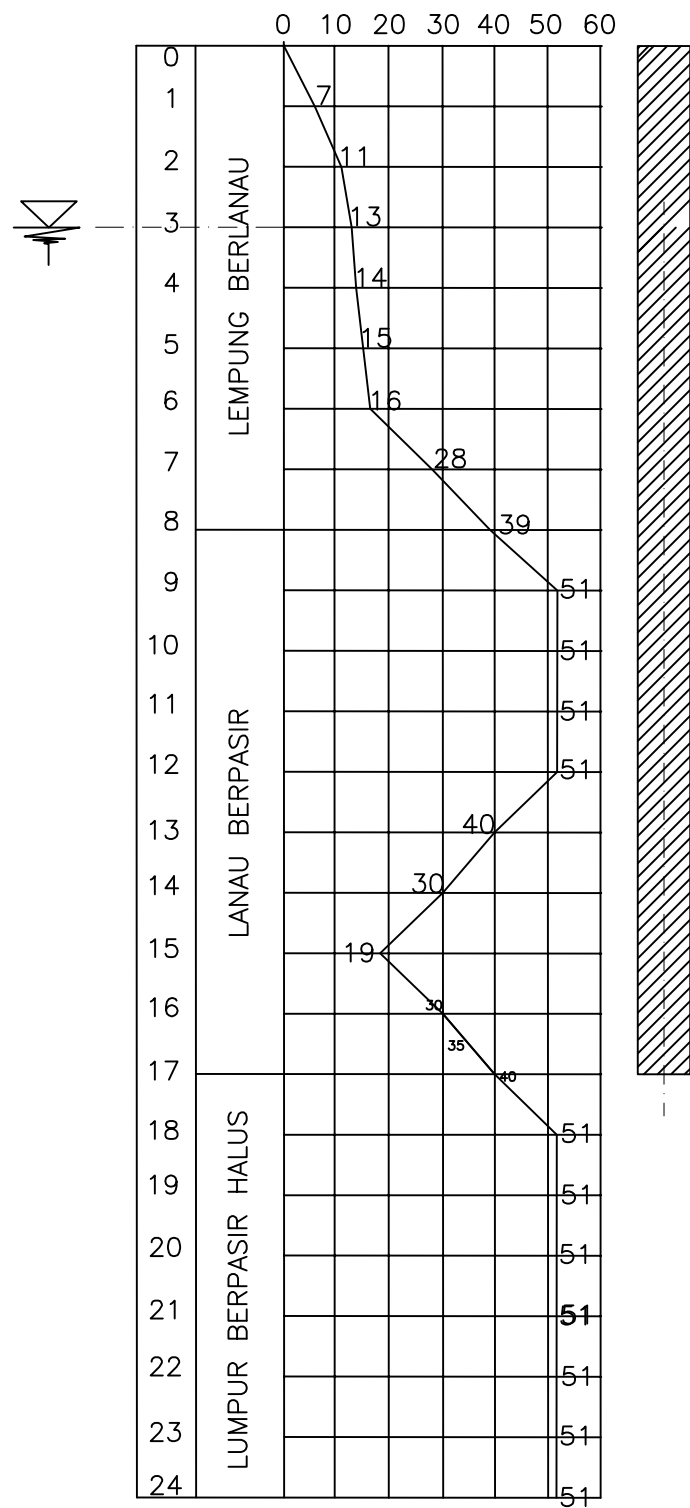




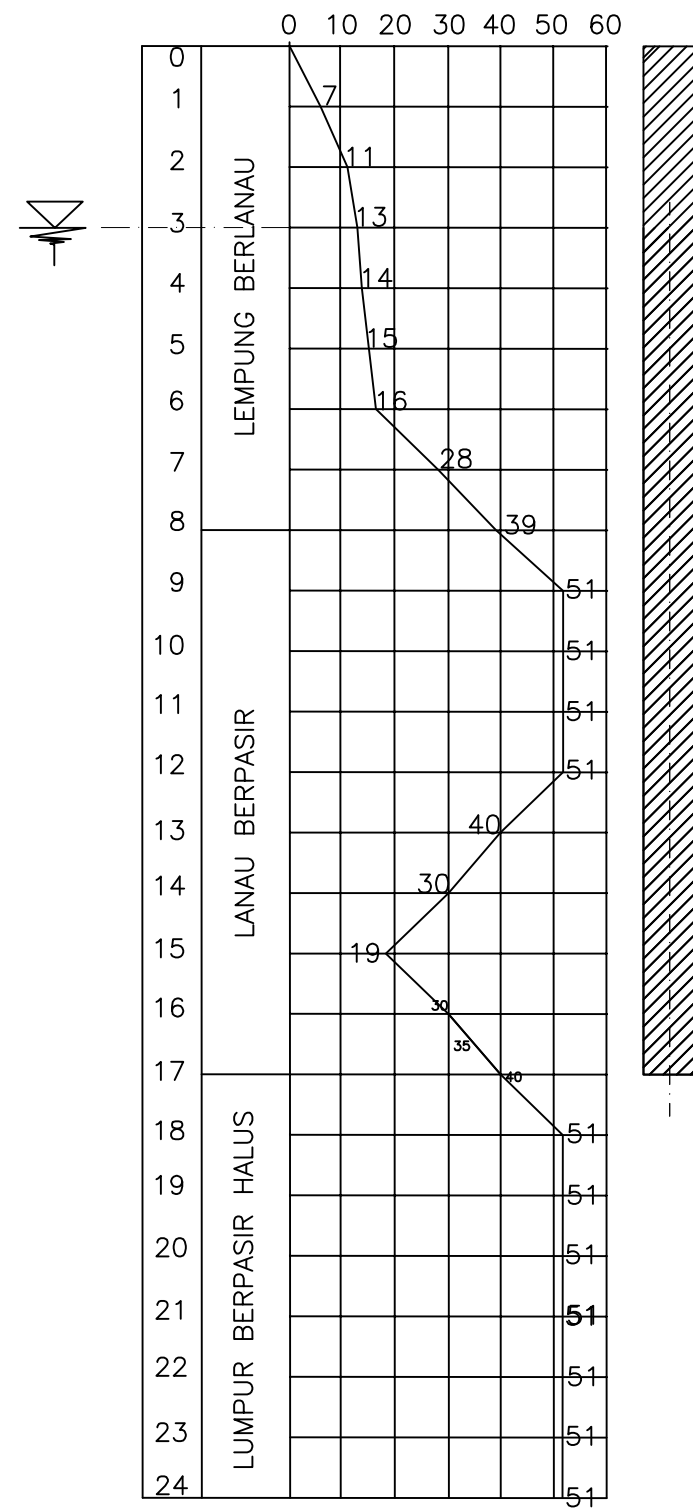
**DENAH TIANG PANCANG ABUTMENT A2**  
SKALA 1 : 100



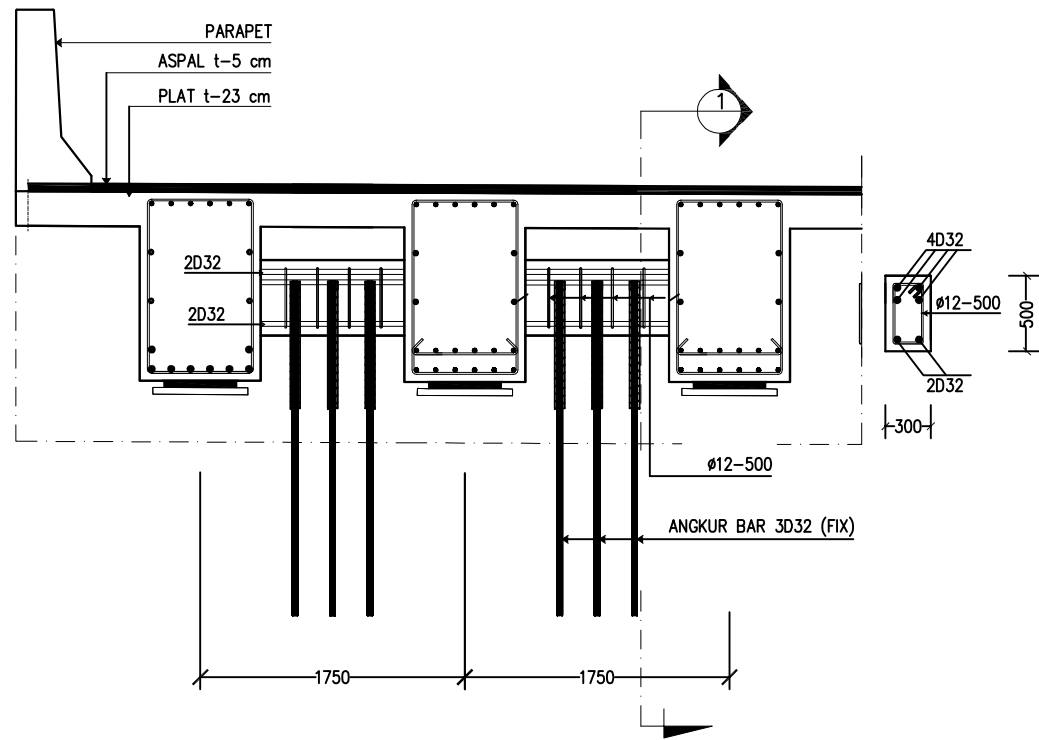
**DENAH TIANG PANCANG ABUTMENT A1**  
SKALA 1 : 100



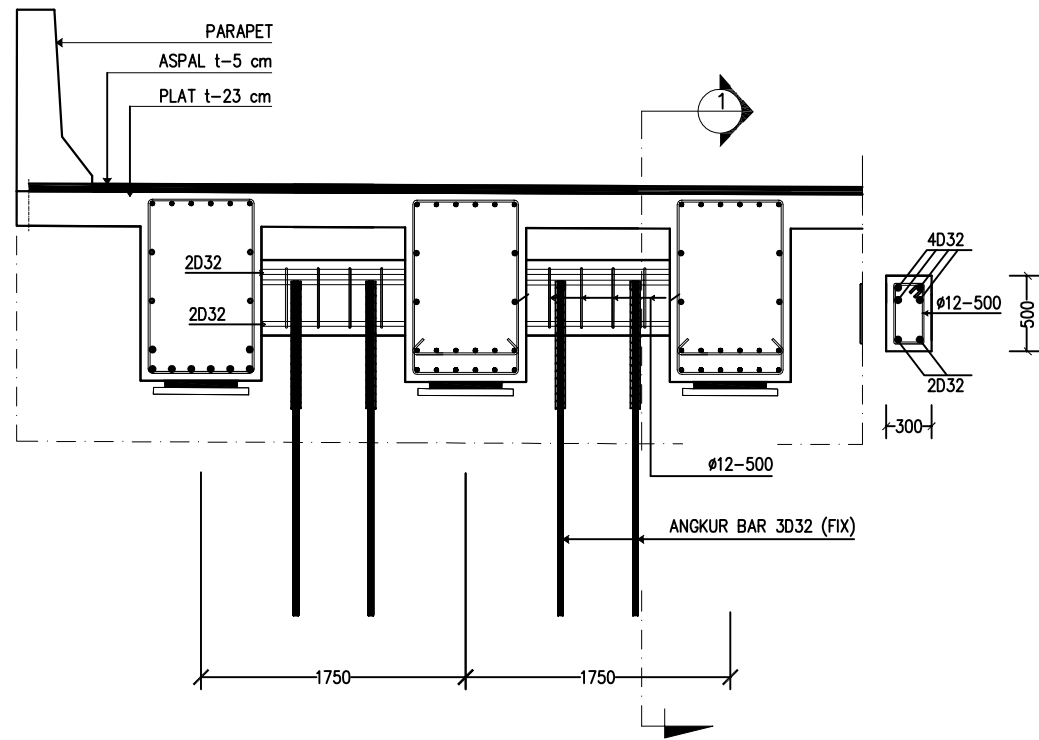
DATA STANDAR PENETRATION TEST A1



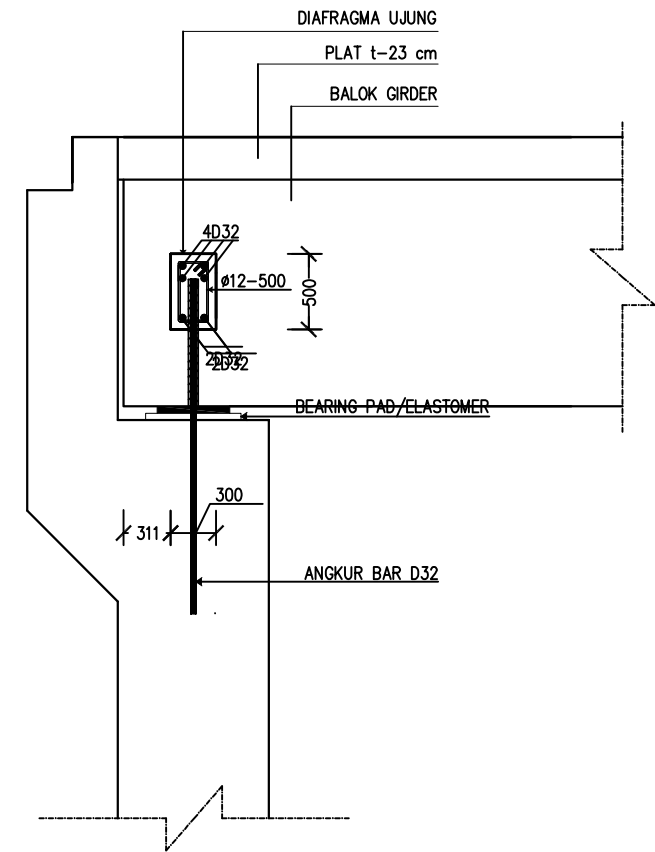
DATA STANDAR PENETRATION TEST A2



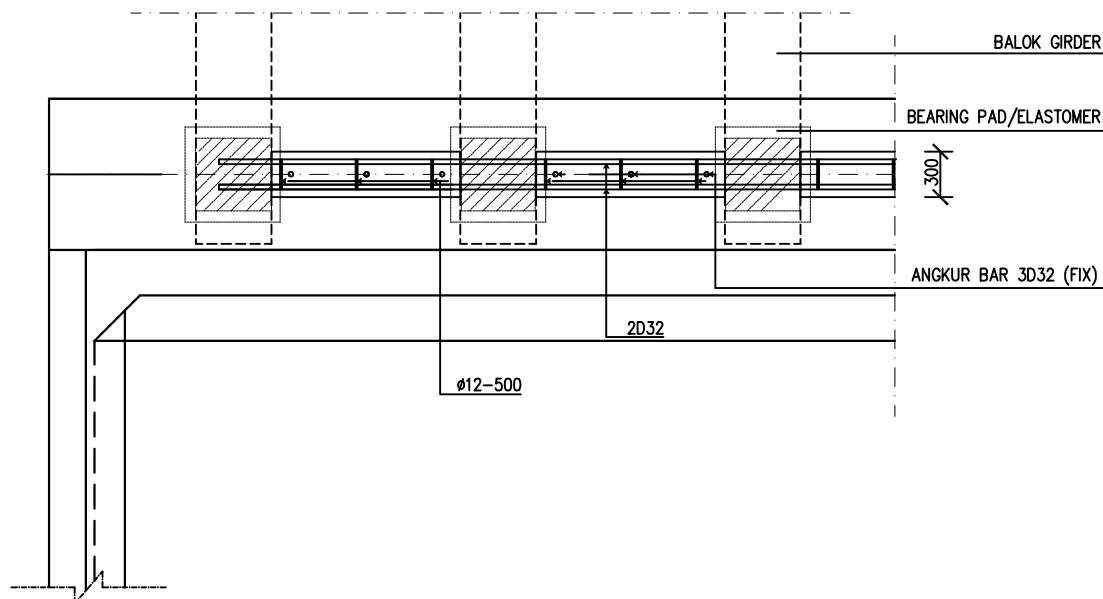
**DETAIL PENULANGAN DIAFRAGMA (FIX)**  
SKALA 1:50



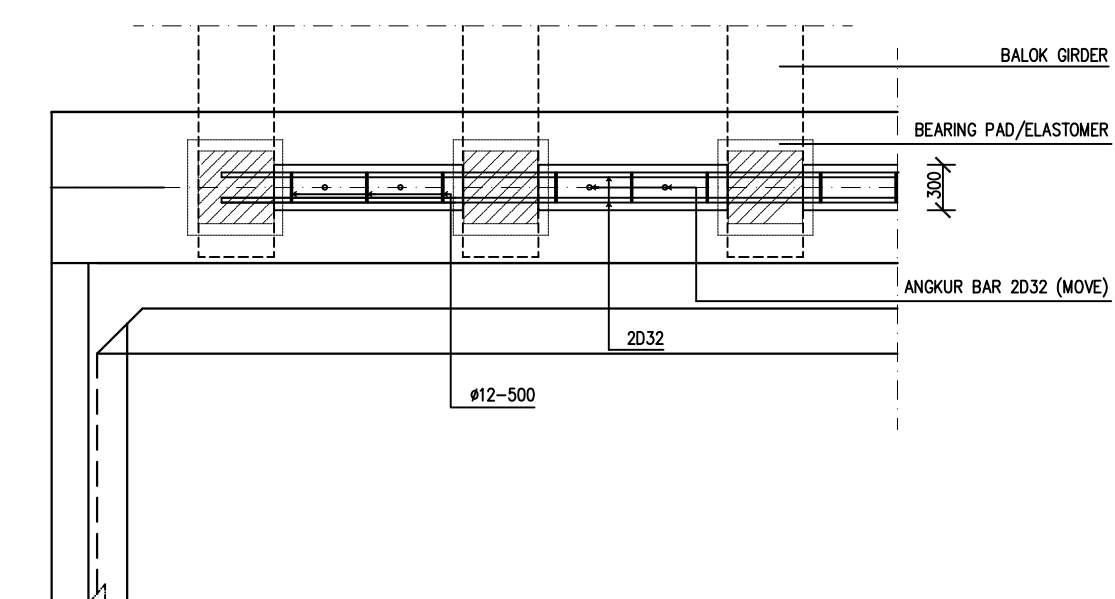
**DETAIL PENULANGAN DIAFRAGMA (MOVE)**  
SKALA 1:50



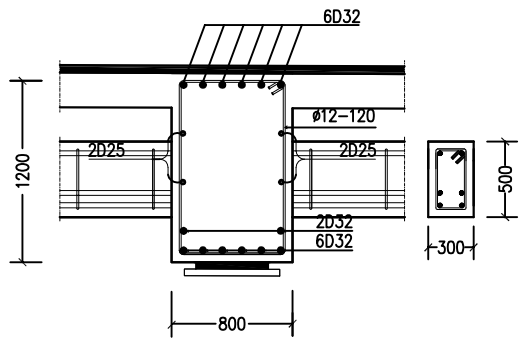
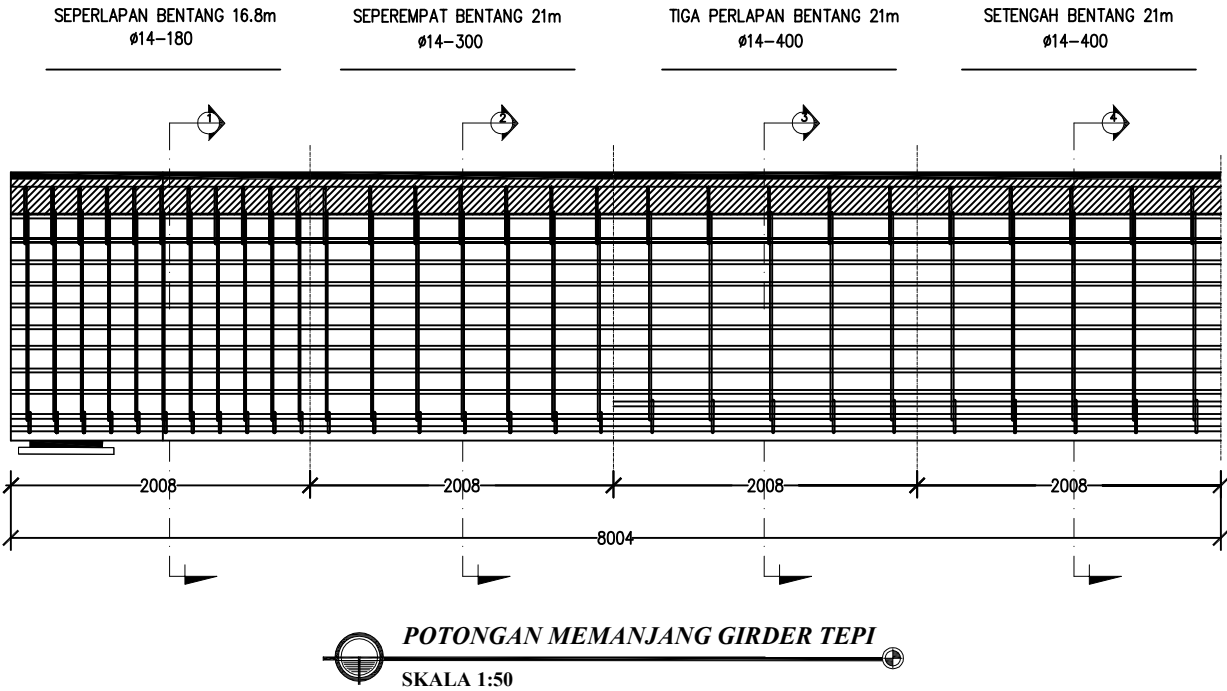
**POTONGAN 1**  
SKALA 1:50



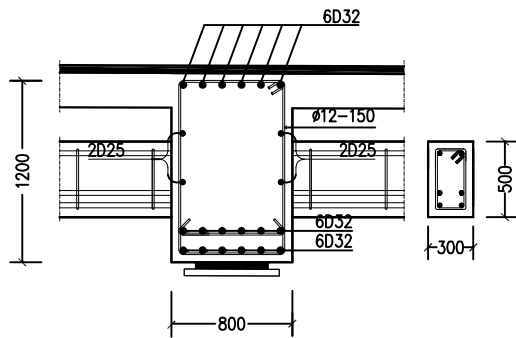
**TAMPAK ATAS DIAFRAGMA UJUNG (FIX)**  
SKALA 1:50



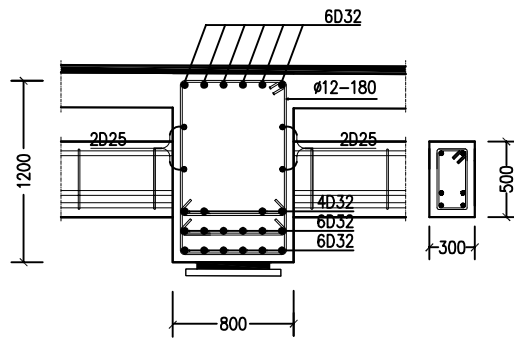
**TAMPAK ATAS DIAFRAGMA UJUNG (MOVE)**  
SKALA 1:50



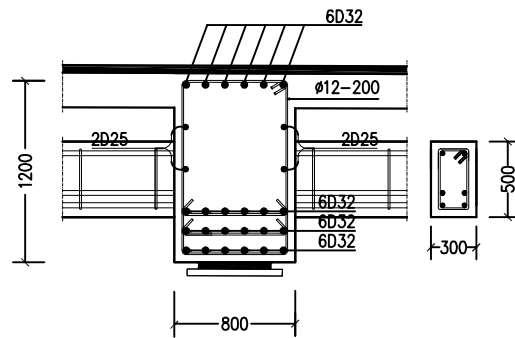
**POTONGAN 1 BALOK GIRDER**  
SKALA 1:50



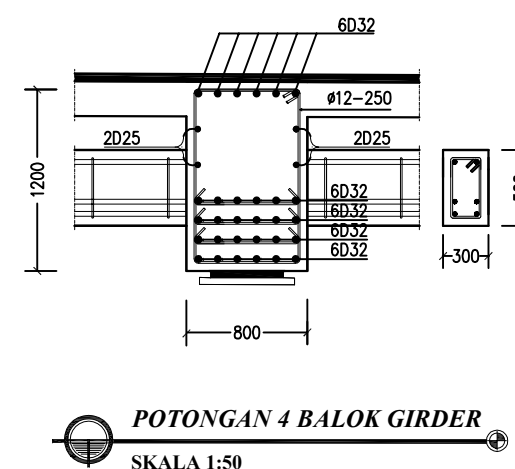
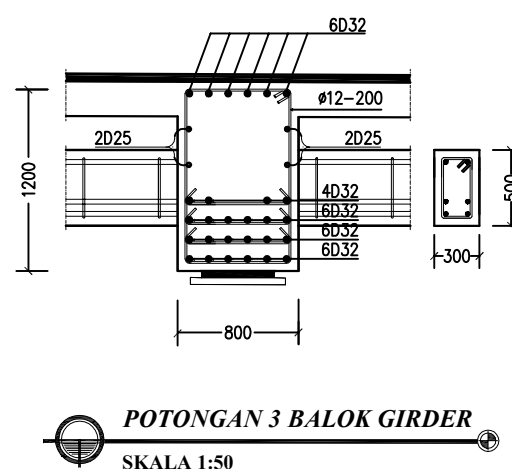
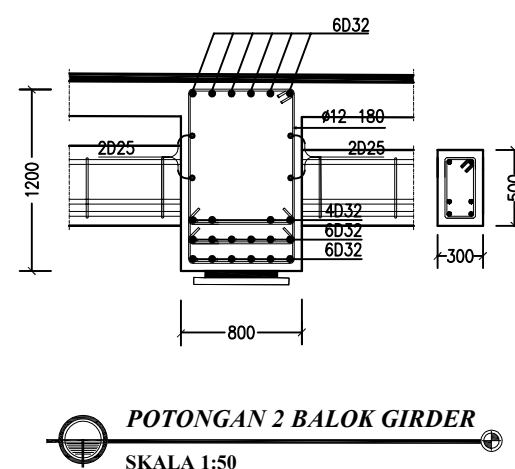
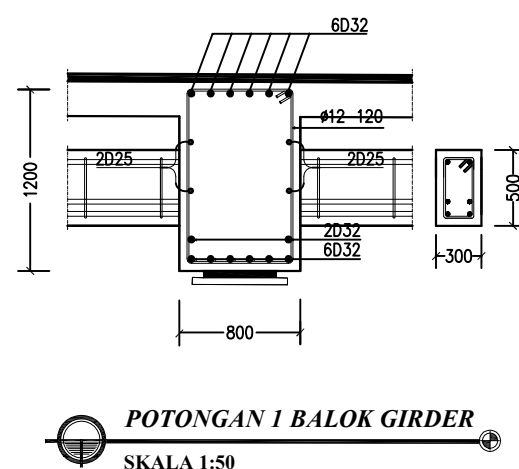
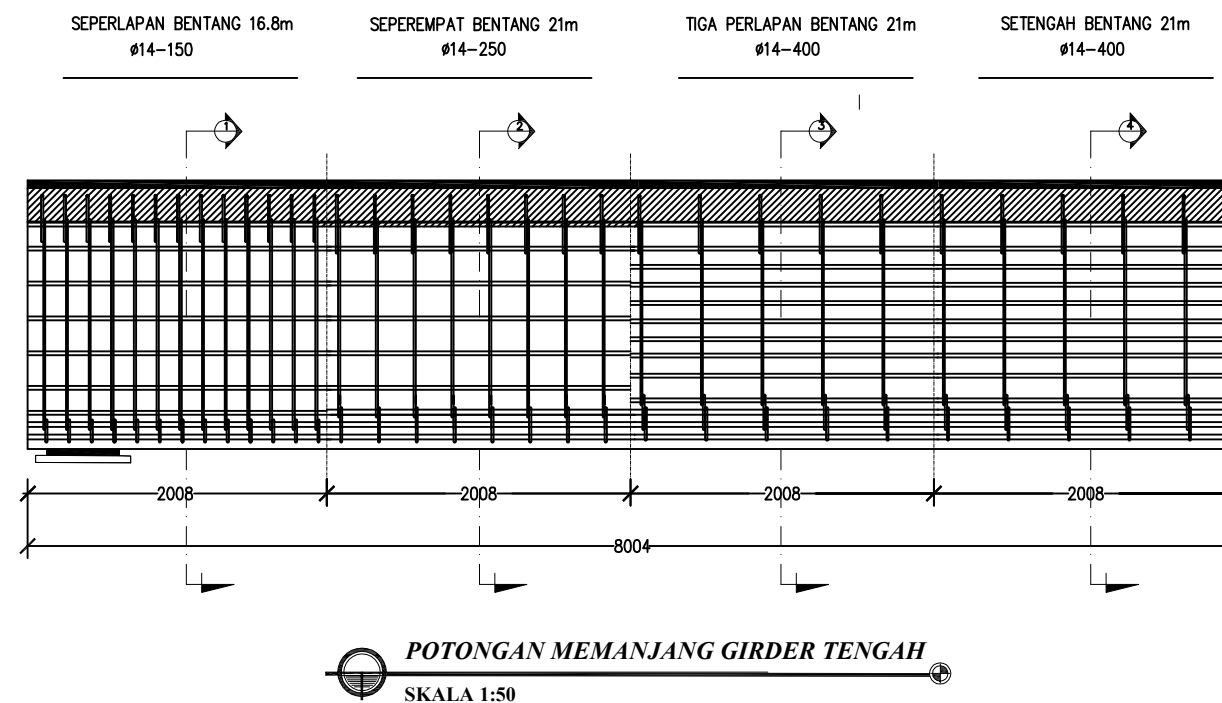
**POTONGAN 2 BALOK GIRDER**  
SKALA 1:50

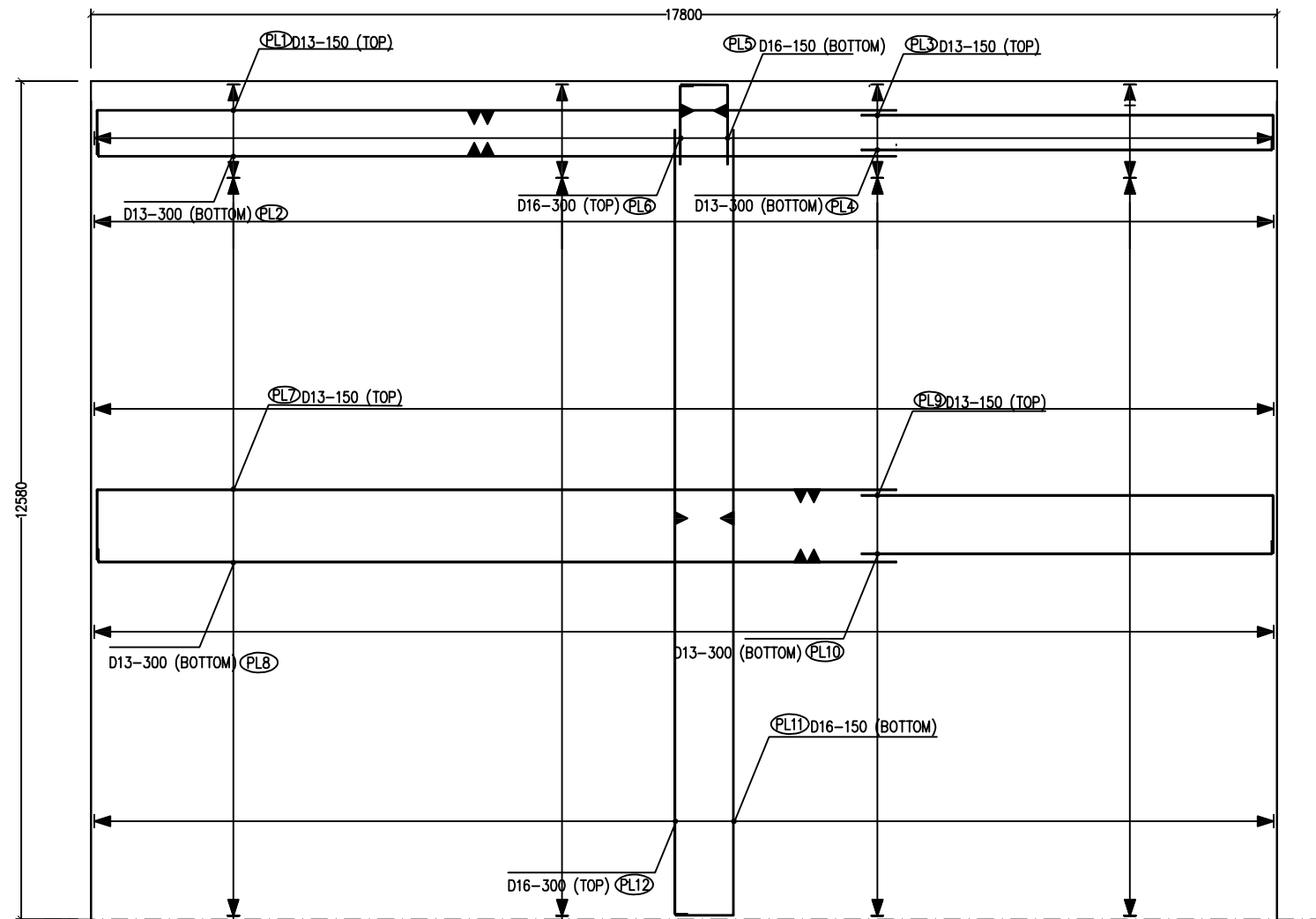


**POTONGAN 3 BALOK GIRDER**  
SKALA 1:50

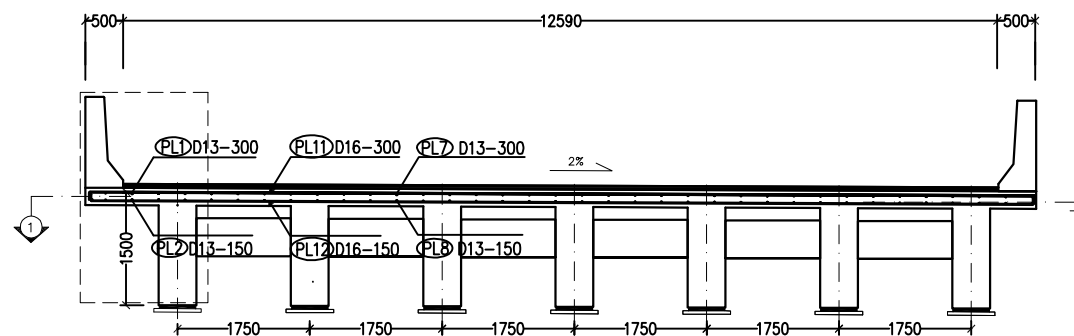


**POTONGAN 3 BALOK GIRDER**  
SKALA 1:50

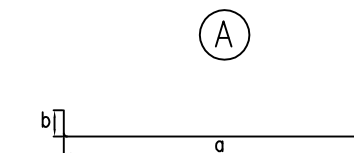




**POTONGAN 1 LANE B (NGAWI)**  
SKALA 1 : 100



**DETAIL PENULANGAN PLAT LANTAI**  
SKALA 1 : 100



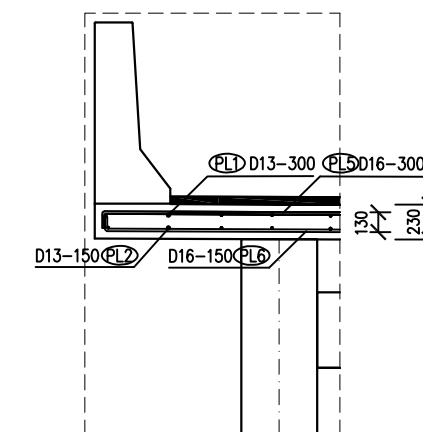
**PLAT LANTAI (ARAH NGAWI, Lebar : 12590 mm)**

No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
PL1	13	A	11870	130			12000	10	1.04	124.8
PL2	13	A	11920	80			12000	10	1.04	124.8
PL3	13	A	6185	130			6315	10	1.04	65.676
PL4	13	A	6185	80			6265	10	1.04	65.156
PL5	16	A	1202	130			1332	90	1.58	189.41
PL6	16	A	1202	80			1282	90	1.58	182.30
PL7	13	A	11870	130			12000	75	1.04	936
PL8	13	A	11920	80			12000	75	1.04	936
PL9	13	A	6185	130			6315	75	1.04	492.57
PL10	13	A	6185	80			6265	75	1.04	488.67
PL11	16	A	11870	130			12000	137	1.58	2597.52
PL12	16	A	11920	80			12000	137	1.58	2597.52
<b>TOTAL</b>										8800.42

15000

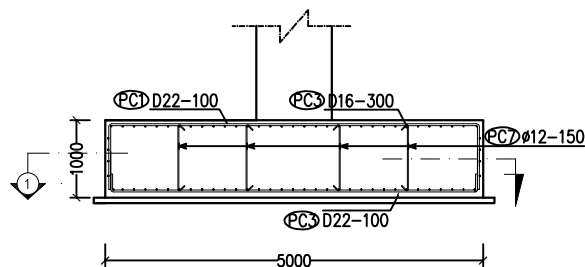
D 13	=	3234	kg
D 32	=	5567	kg
<b>TOTAL</b>	=	8800.42	kg

**BAR BENDING SCHEDULE**

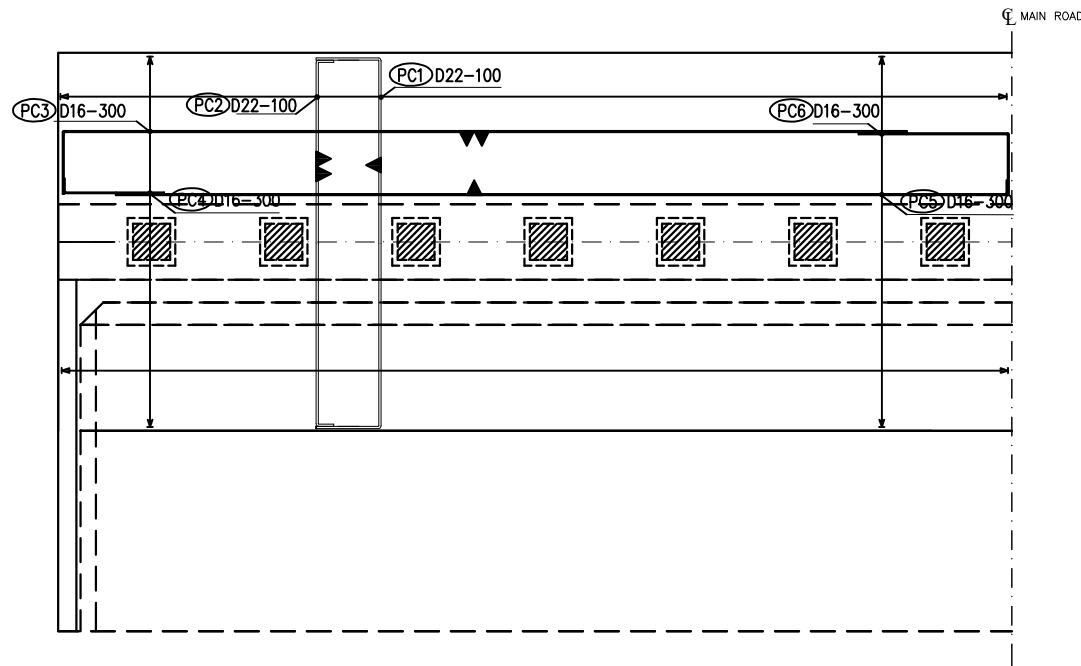


**DETAIL PENULANGAN PLAT LANTAI KANTILEVER**  
SKALA 1 : 50

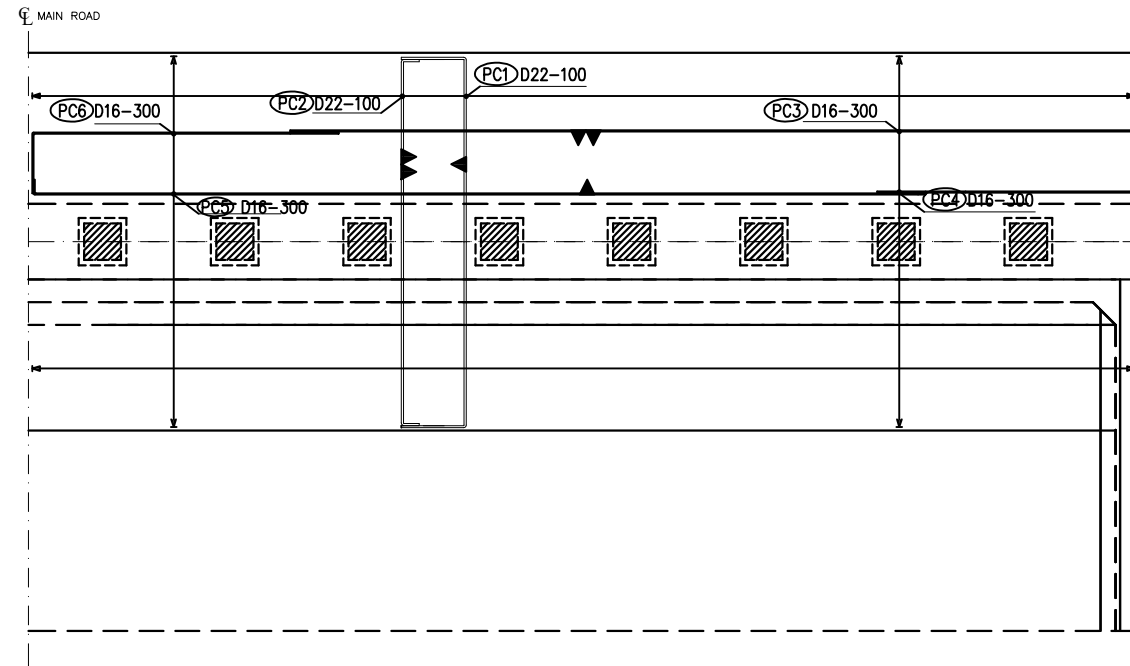




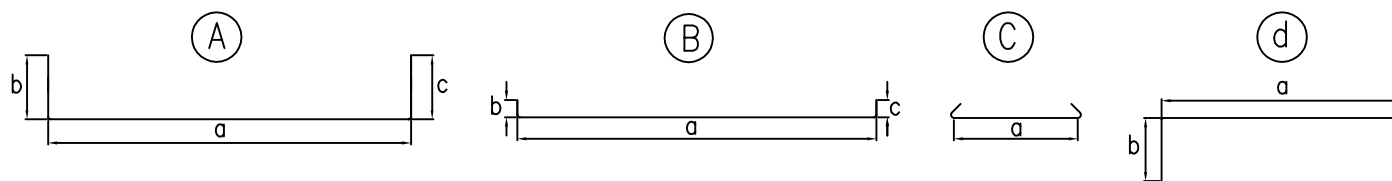
**DETAIL PENULANGAN PILECAP**  
SKALA 1 : 100



**POTONGAN 1 LANE B (NGAWI)**  
SKALA 1 : 100



**POTONGAN 1 LANE A (SOLO)**  
SKALA 1 : 100



PILECAP (ARAH SOLO, Lebar : 14690 mm)										
No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
PC1	22	A	4900	900	900		6700	147	2.98	2935.00
PC2	22	B	4900	200	200		5300	147	2.98	2321.72
PC3	16	D	11150	850			12000	21	1.58	398.16
PC4	16	D	3389	200			3589	21	1.58	119.08
PC5	16	D	11800	200			12000	21	1.58	398.16
PC6	16	D	4051	850			4901	21	1.58	162.62
PC7	12	D	850	85	85		1020	504	0.892	458.56
									<b>TOTAL</b>	6793.30
							D 12	=	458.56	kg
							D 16	=	1078.02	kg
							D 22	=	5257	kg
							<b>TOTAL</b>	=	6793.30	kg

PILECAP (ARAH NGAWI, Lebar : 12590 mm)										
No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
PC1	22	A	4900	900	900		6700	127	2.98	2535.68
PC2	22	B	4900	200	200		5300	127	2.98	2005.84
PC3	16	D	11150	850			12000	21	1.58	398.16
PC4	16	D	1327	200			1527	21	1.58	50.67
PC5	16	D	11800	200			12000	21	1.58	398.16
PC6	16	D	1989	850			2839	21	1.58	94.20
PC7	12	D	850	85	85		1020	127	0.892	115.55
									<b>TOTAL</b>	5598.25
							D 12	=	115.55	kg
							D 16	=	941.18	kg
							D 22	=	4542	kg
							<b>TOTAL</b>	=	5598.25	kg

**BAR BENDING SCHEDULE**



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KLENTENG  
PADA RUAS JALAN TOL SOLO-NGAWI STA 46+146  
DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIONAL

NAMA GAMBAR  
1. DETAIL PENULANGAN PILECAP

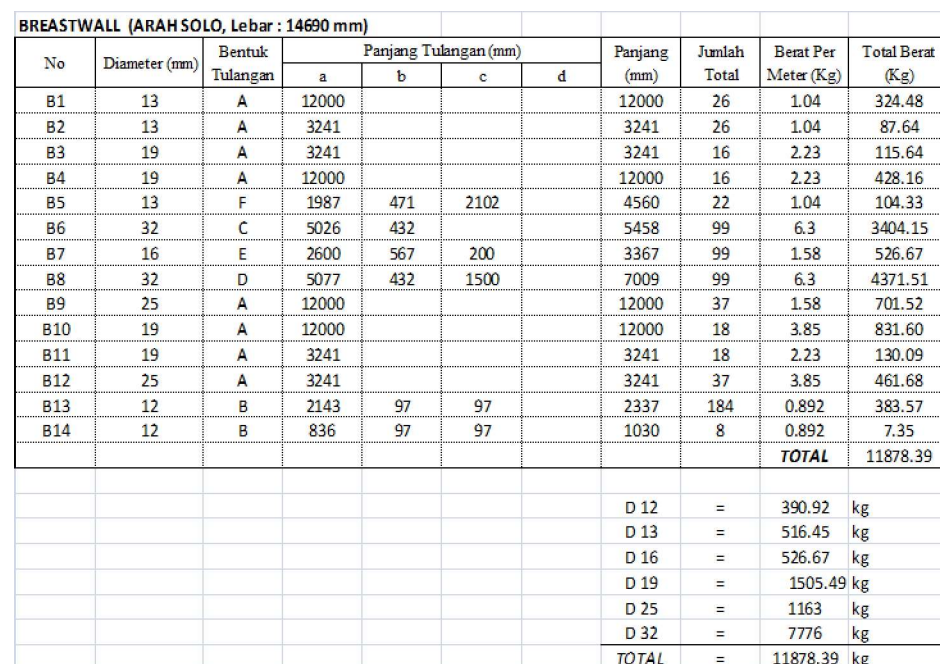
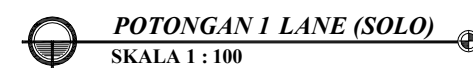
MAHASISWA I  
ARDINE WAIDA APRI. A.  
NRP. 3114030080

MAHASISWA II  
DWI HARYANTO  
NRP. 3114030120

Menyetujui  
Ir. Chomaedhi, CES. Geo.  
19550319 198403 1 001

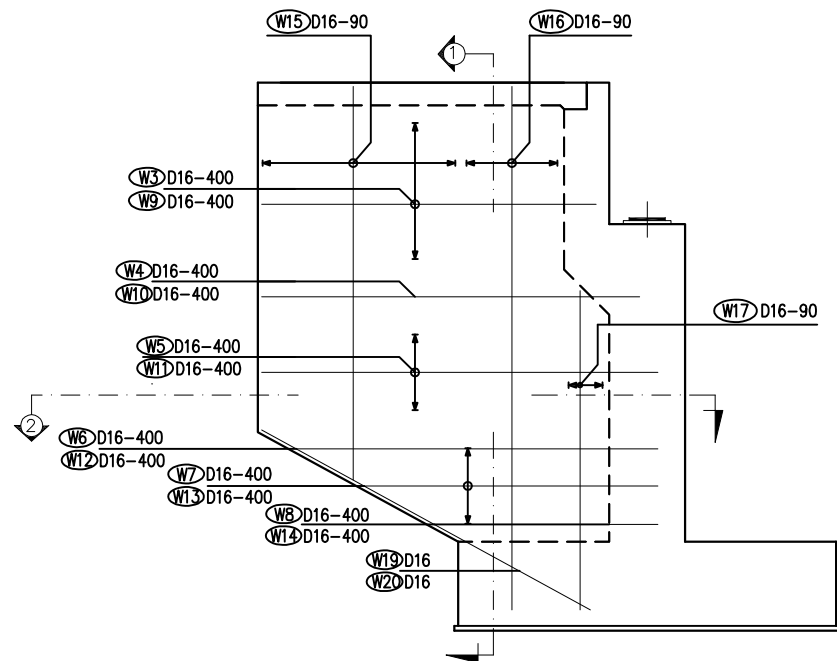
No Gambar  
11

Jumlah Gambar  
14

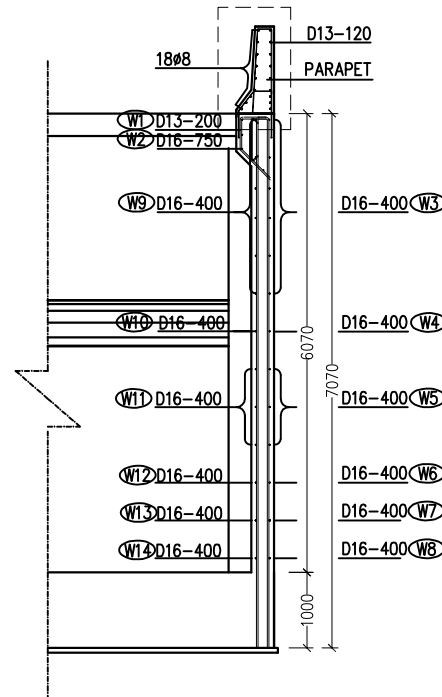


BREASTWALL (ARAH NGAWI, Lebar : 12590 mm)										
No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
B1	13	A	12000				12000	26	1.04	324.48
B2	13	A	1120				1120	26	1.04	30.28
B3	19	A	1120				1120	16	2.23	39.96
B4	19	A	12000				12000	16	2.23	428.16
B5	13	F	1987	471	2102		4560	19	1.04	90.11
B6	32	C	5026	432			5458	85	6.3	2922.76
B7	16	E	2600	567	200		3367	85	1.58	452.19
B8	32	D	5077	432	1500		7009	85	6.3	3753.32
B9	25	A	12000				12000	37	1.58	701.52
B10	19	A	12000				12000	18	3.85	831.60
B11	19	A	1120				1120	18	2.23	44.96
B12	25	A	1120				1120	37	3.85	159.54
B13	12	B	2143	97	97		2337	157	0.892	327.28
B14	12	B	836	97	97		1030	8	0.892	7.35
									<b>TOTAL</b>	10113.51
							D 12	=	334.63	kg
							D 13	=	444.87	kg
							D 16	=	452.19	kg
							D 19	=	1344.68	kg
							D 25	=	861	kg
							D 32	=	6676	kg
							<b>TOTAL</b>	=	10113.51	kg

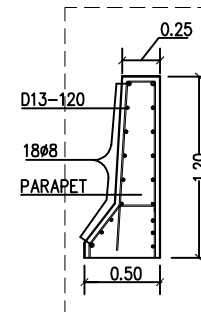
 **BAR BENDING SCHEDULE** 



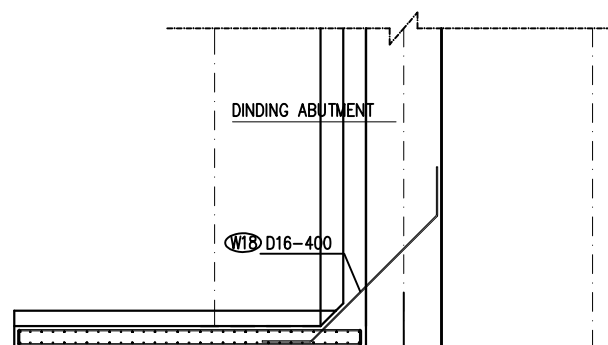
**DETAIL PENULANGAN WINGWALL**  
SKALA 1 : 100



**POTONGAN 1**  
SKALA 1 : 100



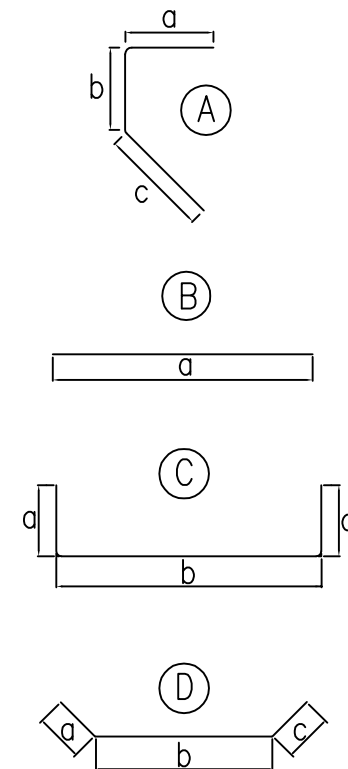
**DETAIL PENULANGAN PARAPET**  
SKALA 1 : 50



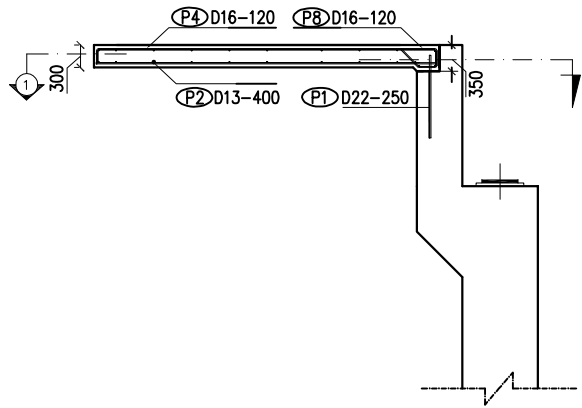
**POTONGAN 2**  
SKALA 1 : 100

WINGWALL										
No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
W1	13	A	396	429	566		1391	21	1.04	30.38
W2	16	B	4650				4650	6	1.58	44.08
W3	16	C	190	4475	190		4855	6	1.58	46.03
W4	16	C	190	5052	190		5432	1	1.58	8.58
W5	16	C	190	5290	190		5670	3	1.58	26.88
W6	16	C	190	4903	190		5283	1	1.58	8.35
W7	16	C	190	3965	190		4345	1	1.58	6.87
W8	16	C	190	3075	190		3455	1	1.58	5.46
W9	16	B	4475				4475	6	1.58	42.42
W10	16	B	5052				5052	1	1.58	7.98
W11	16	B	5290				5290	3	1.58	25.07
W12	16	B	4903				4903	1	1.58	7.75
W13	16	B	3965				3965	1	1.58	6.26
W14	16	B	3075				3075	1	1.58	4.86
W15	16	B	5203				5203	60	1.58	493.24
W16	16	B	6920				6920	28	1.58	306.14
W17	16	B	4318				4318	12	1.58	81.87
W18	16	B	640	2356	640		3636	12	1.58	68.94
W19	16	C	190	4957	190		5337	1	1.58	8.43
W20	16	B	4957				4957	1	1.58	7.83
									<b>TOTAL</b>	1221.16
									D 13	= 30.38 kg
									D 16	= 1190.78 kg
									<b>TOTAL</b>	= 1221.16 kg

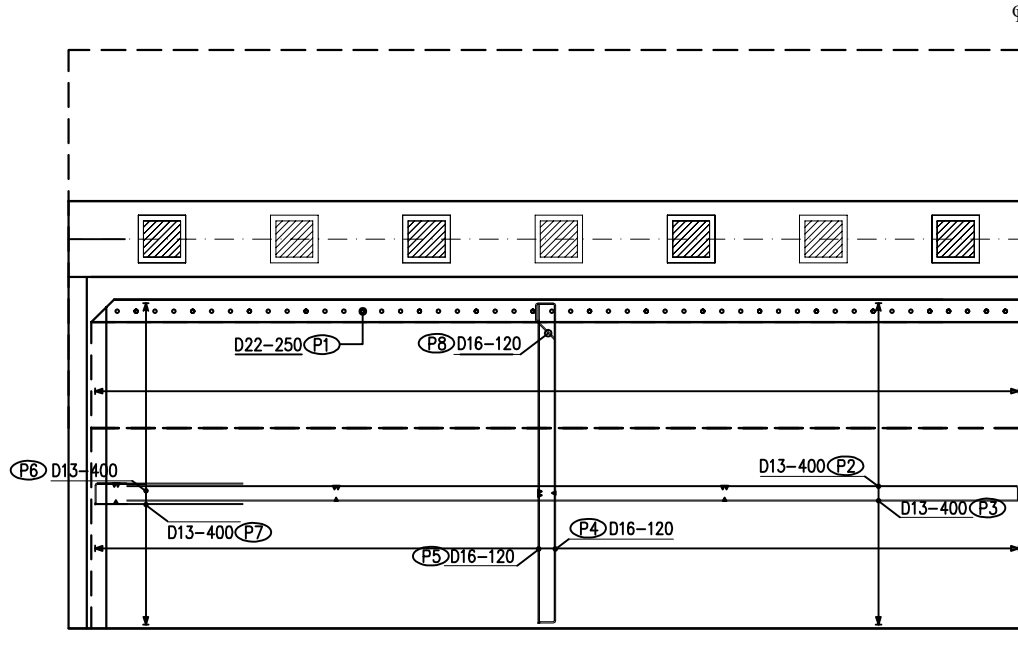
**BAR BENDING SCHEDULE**



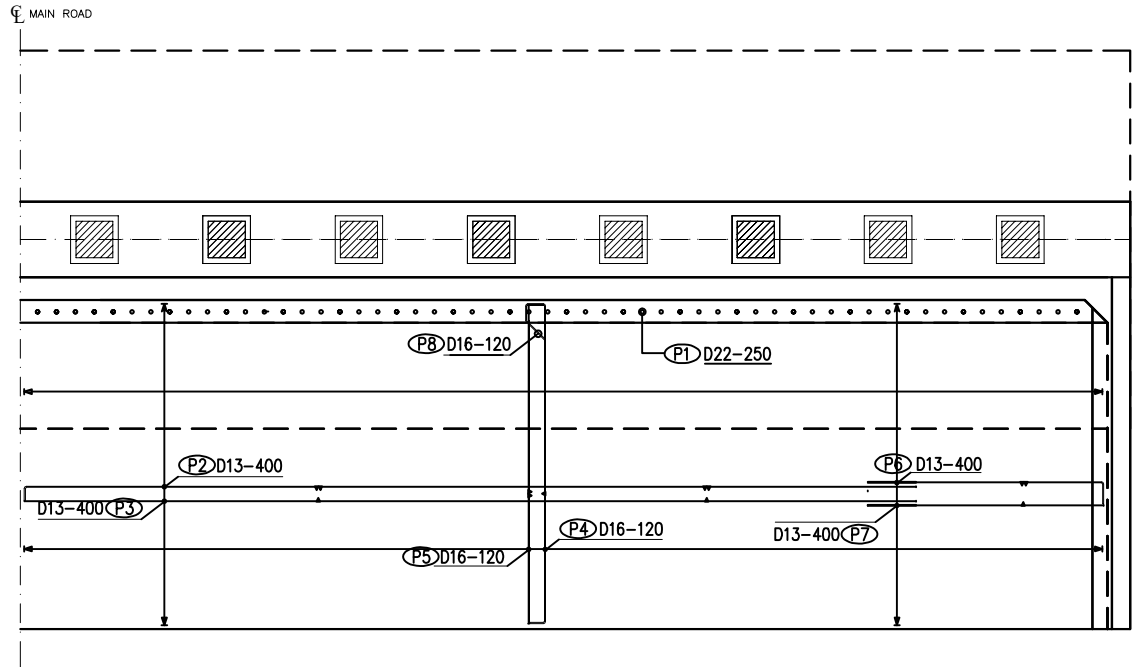




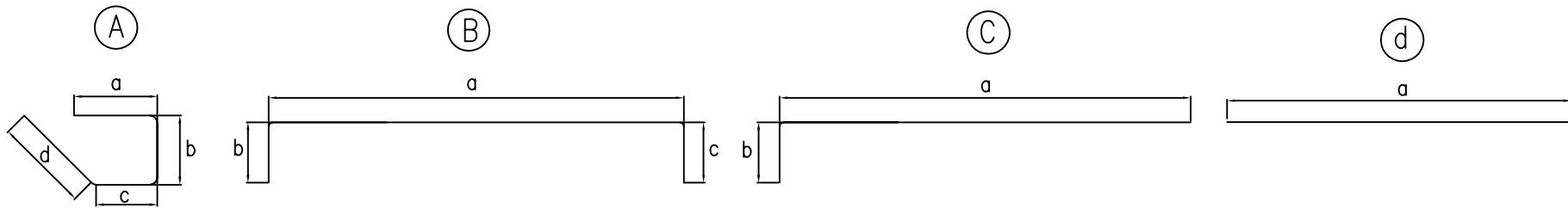
DETAIL PENULANGAN PLAT INJAK ABUTMENT  
SKALA 1 : 100



POTONGAN 1 LANE B (NGAWI)  
SKALA 1 : 100



POTONGAN 1 LANE A (SOLO)  
SKALA 1 : 100



PLAT INJAK (ARAH SOLO, Lebar : 14690 mm)

No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
P1	22	D	880				880	56	2.98	147
P2	13	C	11800	200			12000	12	1.04	150
P3	13	D	11800				11800	12	1.04	147
P4	16	B	4229	200	200		4629	120	1.58	878
P5	16	D	4229				4229	120	1.58	802
P6	16	C	3121	200			3321	12	1.58	63
P7	16	D	3121				3121	12	1.58	59
P8	16	A	417	266	218	324	1225	120	1.58	232
									<b>TOTAL</b>	2478
							D 13	=	297.02	kg
							D 16	=	2033.88	kg
							D 22	=	147	kg
							<b>TOTAL</b>	=	2477.76	kg

PLAT INJAK (ARAH NGAWI, Lebar : 12590 mm)

No	Diameter (mm)	Bentuk Tulangan	Panjang Tulangan (mm)				Panjang (mm)	Jumlah Total	Berat Per Meter (Kg)	Total Berat (Kg)
			a	b	c	d				
P1	22	D	880				880	48	2.98	126
P2	13	C	11800	200			12000	12	1.04	150
P3	13	D	11800				11800	12	1.04	147
P4	16	B	4229	200	200		4629	103	1.58	753
P5	16	D	4229				4229	103	1.58	688
P6	16	C	3121	200			3321	12	1.58	63
P7	16	D	3121				3121	12	1.58	59
P8	16	A	417	266	218	324	1225	103	1.58	199
									<b>TOTAL</b>	2186
							D 13	=	297.02	kg
							D 16	=	1763.05	kg
							D 22	=	126	kg
							<b>TOTAL</b>	=	2185.95	kg

BAR BENDING SCHEDULE



MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR JEMBRAN KLENTENG  
PADA RUAS JALAN TOL SOLO-NGAWI STA 46+146  
DENGAN MENGGUNAKAN BALOK KONVENSIIONAL

1. DETAIL PENULANGAN PLAT INJAK

ARDINE WAIDA APRI. A.  
NRP. 3114030080

DWI HARYANTO  
NRP. 3114030120

Ir. Chomaedhi, CES. Geo.  
19550319 198403 1 001

14

14